

# POLTTOKOELAITTEIDEN TIEDONKERUUJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

Jouni Häkkinen

Opinnäytetyö  
Maaliskuu 2011

Automaatiotekniikan koulutusohjelma  
Tekniikka ja Liikenne



JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULU  
JAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Tekijä(t) HÄKKINEN, Jouni	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 07.03.2011
	Sivumäärä 117	Julkaisun kieli Suomi
	Luottamuksellisuus ( ) saakka	Verkojulkaisulupa myönnetty ( X )
Työn nimi POLTTOKOELAITTEIDEN TIEDONKERUUJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS		
Koulutusohjelma Automaatiotekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) RANTAPUSKA, Seppo		
Toimeksiantaja(t) Teknologian tutkimuskeskus VTT MIKKONEN, Hannu		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Kansainväliset ilmastopöytäkirjat asettavat merkittäviä haasteita energiasektorin kehittämiselle lähivuosikymmenten aikana. Työn toimeksiantajan Teknologian tutkimuskeskus VTT:n leijupolton prosessikehitys- ja monipolttolaitteiden tutkimuksessa tähdätään energiantuotannon päästöjen ja kustannusten leikkauksiin voimalaitosten tehokkuutta ja käytettävyyttä parantamalla. Tutkimus- ja kehitystyö perustuu polttokoetoiminnassa syntyvän prosessidatan keräämiseen ja jälkianalysointiin.</p> <p>Tutkimustyössä käytettävien koekattiloiden ja prosessinohjausjärjestelmän lisäksi tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmä on tärkeä osa tutkimuslaitteistoa. Opinnäytetyön lähtökohtana oli Siemens SIMATIC PCS7 -prosessinohjausjärjestelmän omilla toiminnoilla toteutettu tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmä, jolla ei täysin pystytty täyttämään tutkimusympäristön asettamia vaatimuksia. Työn tavoitteena oli uuden tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmän suunnittelu ja toteutus.</p> <p>Työn alussa tehtiin kartoitus markkinoilta löytyvistä PCS7-prosessinohjausjärjestelmään liitettävistä tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmistä. Lisäksi toteutettiin kartoituksen tulosten perusteella valittu uuden Savcor Wedge® -prosessidiagnostiikkajärjestelmän käyttöönotto ja testaus.</p> <p>Tutkimusympäristö asettaa tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmän suorituskyvylle lisähaasteita puhtaasti teolliseen ympäristöön verrattuna. Prosessidataa tallennetaan suurempia määriä nopeammalla tallennusnopeudella, jolloin erityisesti rajapinnan toteutus nousee ratkaisevaan asemaan. Suorituskykyvaatimuksista johtuen työssä ei voitu soveltaa PCS7-järjestelmän yhteydessä yleisesti käytettäviä rajapintaratkaisuja. Kartoitusvaiheessa saatiin yleiskuva Siemens SIMATIC PCS7 -prosessinohjausjärjestelmään integroituvista ja tutkimusympäristöön soveltuvista tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmistä sekä OPC-rajapintaratkaisusta. Lopputuloksena saatiin jatkuvasti kehittyvän tutkimusympäristön tarpeet hyvin täyttävä tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmä, jonka myötä tutkimus- ja kehitystyö tehostuu.</p>		
Avainsanat (asiasanat) PCS7, tiedonkeruujärjestelmä, Savcor Wedge® -prosessidiagnostiikkajärjestelmä, OPC		
Muut tiedot		



Author(s) HÄKKINEN, Jouni	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 07032011
	Pages 117	Language Finnish
	Confidential ( ) Until	Permission for web publication ( X )
Title ENGINEERING AND IMPLEMENTATION OF DATA ACQUISITION AND ANALYSIS SYSTEM FOR COMBUSTION RESEARCH FACILITIES		
Degree Programme Automation engineering		
Tutor(s) RANTAPUSKA, Seppo		
Assigned by Technical Research Center of Finland MIKKONEN, Hannu		
<p>Abstract</p> <p>International climate agreements and emission trading schemes set major challenges to the development of energy sector during the next decades. Research groups of The Technical Research Center of Finland aim to cut greenhouse gas emissions and costs by optimizing combustion processes. The research is based on experimental research work and analysis of acquired process data.</p> <p>Beside combustion reactors and a process control system, a fully functional data acquisition system is an important part of research facilities. Starting point of this Bachelor's thesis was the original data acquisition and analysis system, which was based on Siemens SIMATIC PCS7 -process control system's internal functions. This system could not fully meet the requirements of the research environment. The aim of this Bachelor's thesis was to engineer and implement new data acquisition and analysis system.</p> <p>This paper includes a survey about different data acquisition and analysis systems on the market. Based on the survey Savcor Wedge® process diagnostics system was chosen and implemented in the PCS7-process control system.</p> <p>The requirements for data acquisition in research environment differ strongly from the ones in industry. The amount of acquisition channels is remarkably larger and the acquisition frequency is higher. This has to be observed especially when choosing the interface. The standard solution for the interface in the field of industrial automation is OPC. However standard OPC solutions with PCS7 cannot fully meet the requirements for performance in this research environment. This Bachelor's thesis provides an overall picture of available data acquisition and analysis systems compatible with PCS7. Also all the steps of implementation and testing of the chosen OPC-solution and Savcor Wedge® process diagnostics system are presented. As a result a fully functional data acquisition and analysis system is achieved, which meets the requirements of the research environment.</p>		
Keywords PCS7, Data acquisition system, Savcor Wedge® process diagnostics system, OPC		
Miscellaneous		

# SISÄLTÖ

1	TYÖN LÄHTÖKOHDAT .....	5
1.1	Tausta .....	5
1.2	VTT ja energiatutkimus .....	5
1.3	Leijupolton prosessikehitys ja monipolttoainekäyttö .....	7
1.4	Opinnäytetyön lähtökohta ja tavoitteet .....	7
2	TUTKIMUSTOIMINTA JA KOELAITTEISTO .....	9
2.1	Leijupoltteknikat ja -koelaitteet .....	9
2.1.1	CFB-koelaite .....	10
2.1.2	BFB-koelaite .....	12
2.1.3	Bench scale -koelaite .....	14
2.2	Arinapoltto ja arinakoelaite .....	15
3	PROSESSINOHJAUSJÄRJESTELMÄ .....	17
3.1	SIMATIC PCS7 -arkkitehtuuri .....	17
3.1.1	Suunnitteluasema .....	17
3.1.2	Operointiasema .....	18
3.1.3	Arkistointi .....	20
3.1.4	Prosessiasema .....	22
3.1.5	Prosessiliitynnät .....	23
3.1.6	Väyläjärjestelmät .....	24
3.2	Polttokeelaboratorion SIMATIC PCS7 -prosessinohjausjärjestelmä .....	28
3.2.1	Hajautettu I/O .....	29
3.2.2	Prosessiasema .....	31
3.2.3	PC-asetukset .....	31
3.2.4	Väyläratkaisut .....	32
3.2.5	Turvallisuuteen Liittyvä Järjestelmä .....	34
4	ALKUPERÄINEN TIEDONKERUU- JA ANALYSOINTIJÄRJESTELMÄ .....	35
4.1	Prosessidatan arkistointi .....	35
4.1.1	Prosessidata .....	35
4.1.2	Arkistoinnin asetukset .....	36
4.1.3	Arkistoinnin suorituskyky .....	38
4.2	WinCC Data Monitor .....	39
4.2.1	Excel-työkirjat .....	41
4.2.2	Ongelmat .....	41
4.3	Visual Basic.Net -sovellus ja WinCC Connectivity Pack .....	42
4.3.1	WinCC Connectivity Pack .....	43
4.3.2	VB.Net-sovellus .....	45
4.3.3	Ongelmat .....	47

5	KARTOITUS TIEDONKERUU- JA ANALYSOINTIJÄRJESTELMISTÄ .....	48
5.1	Tutkimusympäristön tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmälle asettamat vaatimukset .....	48
5.1.1	Perusominaisuudet .....	49
5.1.2	Lisäominaisuudet .....	50
5.2	Kartoituksen toteutus .....	50
5.2.1	Menetelmät .....	50
5.2.2	Kartoituksen kohderyhmä .....	51
5.3	Kartoituksen tulokset .....	52
5.3.1	Teollisuuden tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmät .....	53
5.3.2	Laboratoriotason graafiset ohjelmointiympäristöt ja niihin pohjautuvat sovellukset .....	54
5.3.3	Tietokantojen rakenteet .....	55
5.4	Uuden järjestelmän valinta .....	56
5.5	OPC automaatiojärjestelmien rajapintana .....	58
5.5.1	Palvelin-asiakas -arkkitehtuuri ja palvelintyypit .....	58
5.5.2	OPC-standardit .....	60
5.6	OPC-palvelinohjelmiston valinta .....	63
6	UUSI TIEDONKERUU- JA ANALYSOINTIJÄRJESTELMÄ .....	69
6.1	Palvelinlaitteisto .....	69
6.2	Uusi järjestelmäarkkitehtuuri .....	71
6.3	Ohjelmistorajapinta .....	73
6.4	Savcor Wedge® -prosessidiagnostiikkajärjestelmä .....	75
6.4.1	Tietolähteet .....	75
6.4.2	Sisäiset palvelimet .....	77
6.4.3	Asiakasohjelmiston käyttöliittymä .....	78
6.4.4	Tutkimuksen työkalut .....	80
7	KÄYTTÖÖNOTTO JA TESTAUS .....	85
7.1	OPC-palvelimen asennus ja konfigurointi .....	85
7.2	Arkistoitavien prosessitagien määrittely OPC-palvelimelle .....	91
7.3	Wedge-palvelimen asennus ja konfigurointi .....	94
7.4	Arkistoitavien prosessitagien määrittely Wedge-palvelimelle .....	96
7.5	PCS7-arkistotagien ongelmien ratkaisut .....	98
7.6	Wedge-prosessikaavioiden konfigurointi .....	99
7.7	Testaus .....	101
7.7.1	OPC-palvelimen suorituskyvyn testaus .....	101
7.7.2	Wedge-tiedonkeruun testaus .....	102
8	YHTEENVETO .....	106
8.1	Lähtökohta .....	106
8.2	Kartoitus tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmistä .....	106
8.3	OPC-rajapinta .....	107
8.4	Uusi tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmä .....	108

9	POHDINTA.....	110
	LÄHTEET.....	113
	LIITTEET .....	115
	Liite 1. PCS7-prosessinohjausjärjestelmän arkkitehtuuri.....	115
	Liite 2. Tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmät -kartoituksen tuloksia.....	116
	Liite 3. Savcor Wedge -asiakasohjelman käyttöliittymä .....	117

## KUVIOT

KUVIO 1. VTT:n Energia ja metsäteollisuus-yksikön rakenne ja bioenergiaosaston tutkimusryhmät .....	6
KUVIO 2. Kerrosleiju- ja kiertoleijukattilan toimintaperiaatteet .....	10
KUVIO 3. Kiertoleijukoelaite (CFB, Circulating Fluidized Bed).....	12
KUVIO 4. Kerrosleijukoelaite (BFB, Bubbling Fluidized Bed) .....	13
KUVIO 5. Bench scale -koelaite (CFB/BFB) .....	14
KUVIO 6. Kiinteän polttoaineen poltto arinalla.....	15
KUVIO 7. Arinakoelaite .....	16
KUVIO 8. SIMATIC PCS7 -operointijärjestelmän palvelin/asiakas-arkkitehtuuri ....	19
KUVIO 9. OS-arkistointi .....	20
KUVIO 10. Profibus DP ja PA tiedonsiirtotapoja.....	26
KUVIO 11. Polttokoelaboratorion PCS7-prosessinohjausjärjestelmän layout-kuva ..	28
KUVIO 12. Prosessiaseman, I/O-moduulien ja Profibus DP -väylän laitteistokonfiguraatio.....	30
KUVIO 13. PC asemien verkkokonfiguraatio.....	32
KUVIO 14. Ethernet-verkkojen kytkennät ja IP-osoitteet .....	33
KUVIO 15. Prosessitagin arkistointityypin ja -syklin asetukset .....	36
KUVIO 16. TagLogging Fast -arkiston segmenttien määrittely .....	37
KUVIO 17. WinCC Data Monitor -järjestelmän arkkitehtuuri.....	39
KUVIO 18. Selainpohjaisen Data Monitor -asiakasohjelman käyttöliittymä .....	40
KUVIO 19. Connectivity Packin tarjoamat rajapinnat ja niiden tyypilliset käyttökohteet.....	44
KUVIO 20. Connectivity Pack ja OLE DB -rajapinta paikalliseen arkistokantaan ....	44
KUVIO 21. VB.Net-sovellus prosessidatan hakuun arkistokannoista. ....	45
KUVIO 22. OPC-palvelin -asiakas paikallisella (Local) koneella .....	59
KUVIO 23. OPC-palvelin -asiakas hajautetussa järjestelmässä (Remote).....	59

KUVIO 24. In-process ja out-process OPC-palvelimet .....	60
KUVIO 25. OpenPCS7-arkkitehtuuri .....	65
KUVIO 26. Applicom® OPC -kommunikointikortti .....	66
KUVIO 27. Järjestelmän päivitetty layout-kuva .....	72
KUVIO 28. Päivitetyt ethernet-verkkojen kytkennät ja IP-osoitteet .....	73
KUVIO 29. Tiedonkeruupalvelimen sisäinen ohjelmistoarkkitehtuuri .....	74
KUVIO 30. Esimerkki B+-puusta.....	76
KUVIO 31. Savcor Wedge -prosessidiagnostiikkajärjestelmän käyttöliittymä .....	79
KUVIO 32. Wedgen pääikkunan otsikko- ja valikkorivit sekä pikavalintapalkki .....	80
KUVIO 33. Wedge-asiakasohjelman trendinäyttö ja muokkausvalikko .....	81
KUVIO 34. Järjestelmäväylään liittyvän verkkokortin asetukset Configuration Consolessa .....	86
KUVIO 35. Valmis OPC-palvelimen konfiguraatio Station Configuration Editorissa.....	87
KUVIO 36. JKLSR50-palvelimen sijoittuminen PCS7 - projektiin.....	88
KUVIO 37. JKLSR50-PC -aseman laitteistokonfiguraatio prosessinohjausjärjestelmässä.....	89
KUVIO 38. JKLSR50-palvelinkoneen verkkokonfiguraatio prosessinohjausjärjestelmässä.....	90
KUVIO 39. Symbolitauluun lisättyjä datablokkeja .....	93
KUVIO 40. Wedge-prosessikaavioiden hierarkkinen rakenne .....	100
KUVIO 41. Ristikorrelaatio samalle Wedgen ja PCS7:n arkistoimalle lämpötilamittaukselle .....	104
KUVIO 42. Keskiarvo ja hajonta sekä minimi- ja maksimiarvot samalle eri järjestelmillä arkistoiduille mittaukselle laskettuna.....	104
KUVIO 43. Korrelaatiomatriisi samalle Wedgen ja prosessinohjausjärjestelmän arkistoimalle mittaukselle.....	105

## TAULUKOT

TAULUKKO 1. Polttokoelaitteiden IO-pisteet.....	29
TAULUKKO 2. I/O-kortit.....	29
TAULUKKO 3. Prosessiaseman komponentit.....	31
TAULUKKO 4. Uuden palvelinlaitteiston kokoonpano.....	70

# 1 TYÖN LÄHTÖKOHDAT

## 1.1 Tausta

Globaalin talouskasvun ja maapallon väestön lisääntymisen arvioidaan nostavan energian kulutusta huomattavasti lähivuosikymmenten aikana. Energian kysynnän kasvamisen lisäksi ilmastonmuutoksen torjuminen asettaa merkittäviä haasteita energiasektorin kehittämiseksi. Avainasemassa ovat energiatehokkuuden parantaminen ja uusien kestävien energiantuotantoteknologioiden käyttöönotto. Kehitykselle asetettujen tavoitteiden saavuttamiseksi on solmittu kansainvälisiä ilmastositoumuksia ja otettu käyttöön päästökauppajärjestelmiä, joiden tarkoituksena on kasvihuonekaasupäästöjen seuranta ja hiilidioksidipäästöjen vähentäminen mahdollisimman kustannustehokkaalla tavalla. Tavoitteina ovat jopa 70 %:n leikkaukset kasvihuonepäästöissä kuluvan vuosisadan puoleenväliin mennessä.

## 1.2 VTT ja energiatutkimus

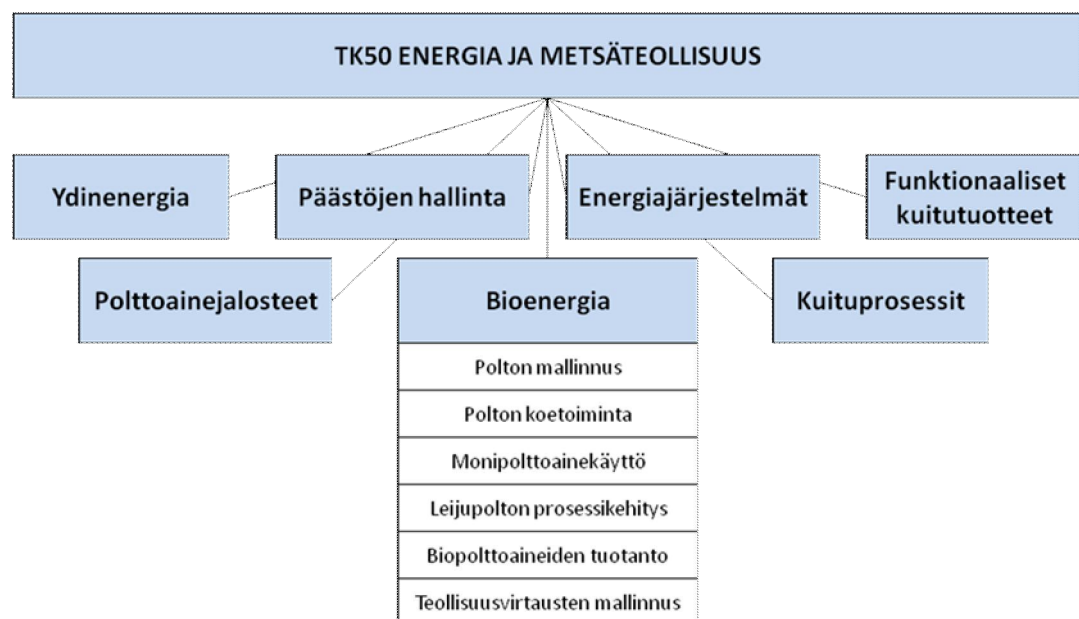
Teknologian Tutkimuskeskus VTT:llä ja sen energiatutkimuksella on keskeinen rooli Suomessa energiantuotannon tehokkuuden parantamiseen ja kasvihuonepäästöjen vähentämiseen tähtäävässä tutkimus- ja kehitystoiminnassa. VTT on n. 3000 henkilöä työllistävä Pohjois-Euroopan suurin soveltavaa tutkimusta harjoittava organisaatio. VTT on osa Suomen innovaatiojärjestelmää, ja sen toiminta-ajatuksena on tuottaa teknologia- ja tutkimuspalveluja sekä kotimaisille että kansainvälisille asiakkaille, yrityksille ja julkiselle sektorille. VTT:n omien arvioiden mukaan nykyisen kehityssuunnan jatkuessa Suomen kasvihuonekaasupäästöjä voidaan pienentää kuluvan vuosisadan puoleenväliin mennessä 30–64 prosentilla 1990-luvun tasoon verrattuna



(Energy Visions 2050 2009, 363). VTT:n tutkimus- ja kehitystoiminta jakautuu sisäisesti seuraaviin organisaatioihin:

- Materiaalit ja rakennettu ympäristö
- Teolliset järjestelmät
- Bio- ja prosessitekniikka
- Energia ja metsäteollisuus
- Mikroteknologiat ja anturit
- ICT
- Johtoryhmätoiminta (VTT, Tutkimus ja teknologiat 2009.)

VTT:n Energia ja metsäteollisuus-organisaatio jakautuu pienempiin tutkimusyksiköihin kuvion 1 mukaisesti.



**KUVIO 1.** VTT:n Energia ja metsäteollisuus-yksikön rakenne ja bioenergiaosaston tutkimusryhmät

### 1.3 Leijupolton prosessikehitys ja monipolttoainekäyttö

Osana VTT:n laajempaa bioenergiatutkimusta tehtävät leijupolton prosessikehitys ja monipolttoainetutkimus (engl. Fluidized-bed combustion, multifuel power and heating plants) tähtäävät energiantuotannon kustannusten ja päästöjen leikkauksiin voimalaitosten tehokkuutta ja käytettävyyttä parantamalla. Valtaosa leijupoltto- ja monipolttoainetutkimusryhmien työstä perustuu kokeelliseen polttokoelaboratoriossa tehtävään koepolttoimintaan. (Mikkonen 2009.)

Tutkimukseen liittyvä polttokoetoiminta on keskittynyt pääasiassa Jyväskylän toimipisteeseen, jonka polttokoelaboratorion koelaitteisto koostuu yhteensä neljästä tutkimustoimintaa varten suunnitellusta kattilasta. Tutkimus perustuu polttokoetoiminnassa syntyvän mittausdatan luotettavaan keräämiseen ja sen jälkianalysointiin. Kaikkien neljän koekattilan ohjauksessa on hiljattain siirrytty simulointitasoisesta laboratoriosovelluksesta Siemens SIMATIC PCS7-prosessinohjausjärjestelmään. Prosessinohjausjärjestelmän uudistamisen myötä myös tutkimuslaitteiston tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmä uudistui. (Mt.)

### 1.4 Opinnäytetyön lähtökohta ja tavoitteet

Tiedonkeruu- ja analysointitoiminnot oli toteutettu aluksi prosessinohjausjärjestelmän omia työkaluja ja Exceliä käyttäen. Alkuperäisenä ajatuksena oli tuoda PCS7-prosessinohjausjärjestelmän keräämä prosessidata tutkijoiden saataville suoraan toimistoverkosta käsin. Järjestelmän käyttöönottovaiheessa suoritettujen testien perusteella kuitenkin havaittiin, että tiedonkeruu- ja analysointitoiminnot eivät täysin pysty vastaamaan tutkimusympäristön niille asettamiin vaatimuksiin. Suurimmaksi ongelmaksi muodostui tallennetun prosessidatan sujuva palautus järjestelmän tiedokannasta analysointia varten. Ongelman korjaamiseksi järjestelmätoimittaja toteutti

ohjelmistotyökalun, jonka avulla prosessidatan hakuaikoja saatiin nopeammiksi. Parannuksista huolimatta tälläkään ratkaisulla ei täysin pystytty vastaamaan tutkimusympäristön suorituskyvylle ja käytettävyydelle asettamiin vaatimuksiin, joten uuden prosessinohjausjärjestelmän yhteyteen päädyttiin hankkimaan erillinen tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmä.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa, tutkimusympäristön tarpeet paremmin täyttävä, SIMATIC PCS7 - prosessinohjausjärjestelmään liitettävä tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmä. Työn alussa tutustuttiin polttokoelaboratorion laitteistoon, PCS7-prosessinohjausjärjestelmään, sekä sen alkuperäisten tiedonkeruu- ja analysointitoimintojen kehityskaareen ja ongelmiin (Luvut 2-4). Uuden tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmän hankinta aloitettiin kartoitusvaiheella, jossa pyrittiin löytämään potentiaalisimmat tarkoitukseen sopivat järjestelmät ja rajapintaratkaisut (Luku 5). Lopuksi toteutettiin kartoituksen tulosten perusteella valitun uuden tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmän käyttöönotto ja testaus (Luvut 6-7).

## 2 TUTKIMUSTOIMINTA JA KOELAITTEISTO

Jyväskylän polttokoelaboratorion koelaitteisto käsittää pilot-kokoluokassa kierto- ja kuplaleijukattilat sekä arinapolttokattilan. Lisäksi käytössä on pienempi laboratorio-kokoluokan Bench scale -kattila, jota voidaan ajaa sekä kierto- että kuplaleijutilassa. Seuraavissa kappaleissa 2.1 ja 2.2 esitellään tarkemmin eri polttotekniikoita ja polttokoelaboratorion laitteistoa.

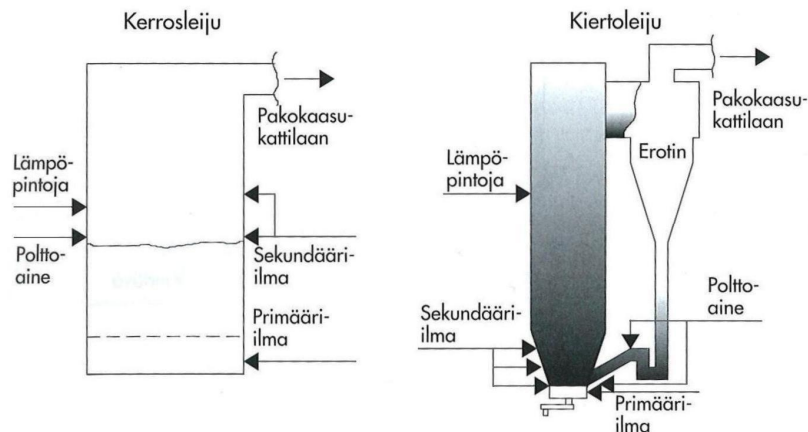
### 2.1 Leijupolttotekniikat ja -koelaitteet

Yksi merkittävimmistä leijupolttotekniikan eduista on sen hyvä soveltuvuus useille erilaisille, myös huonolaatuisille, polttoaineille. Se mahdollistaa erilaisten polttoainesten tehokkaan käytön ilman muiden polttotekniikoiden vaatimia monimutkaisia erikoisjärjestelyitä. Laajan polttoainevalikoiman lisäksi leijupolttokattiloiden palamistehtokkuus on paremman kaasukiintoaine-sekoittuvuuden ja hyvän palamissuhteen ansiosta korkea. Muina etuina voidaan pitää vähäisiä typpioksidien ( $\text{NO}_x$ ) ja palamattomien päästöjä sekä halpaa rikinpoistoa. (Basu 2006, 3–12.)

Leijupoltossa leijutustila saadaan aikaan puhaltamalla kaasua rakeisen materiaalikerroksen läpi sopivalla nopeudella. Leijupolttokattilassa on varsinaisen polttoaineen lisäksi myös reagoimatonta materiaalia (hiekkaa, tuhkaa yms.), joka ei osallistu itse palamisprosessiin, mutta tarjoaa sille optimaaliset olosuhteet. Tyypillisesti palaminen leijupolttokattilassa tapahtuu n. 800–900 °C:n lämpötilassa. (Oka 2004, 14–15.)

Leijupolttotekniikat voidaan jakaa käytettävän leijutustavan mukaan karkeasti kahteen osaan: kerrosleiju- ja kiertoleijupolttoon. Kuplivassa kerrosleijupoltossa leijutusmateriaali pysyy leijutustilan sisällä leijukerroksessa, kun taas kiertoleijussa kiin-

toainehiukkaset kulkeutuvat leijutuskaasun suuremman nopeuden vuoksi pois leijutustilasta. Tulipesästä poistuneet kiintoainehiukkaset erotetaan savukaasuista syklonissa, jonka jälkeen ne palautetaan jatkuvuustilan aikaansaamiseksi takaisin kattilaan. Kerros- ja kierto-leijukattiloiden rakenne ja toiminta on pääosiltaan esitetty kuviossa 2. (Raiko, Kurki-Suonio, Saastamoinen & Hupa 1995, 417.)



**KUVIO 2. Kerrosleijuu- ja kierto-leijukattilan toimintaperiaatteet (Raiko, Kurki-Suonio, Saastamoinen & Hupa 1995, 417)**

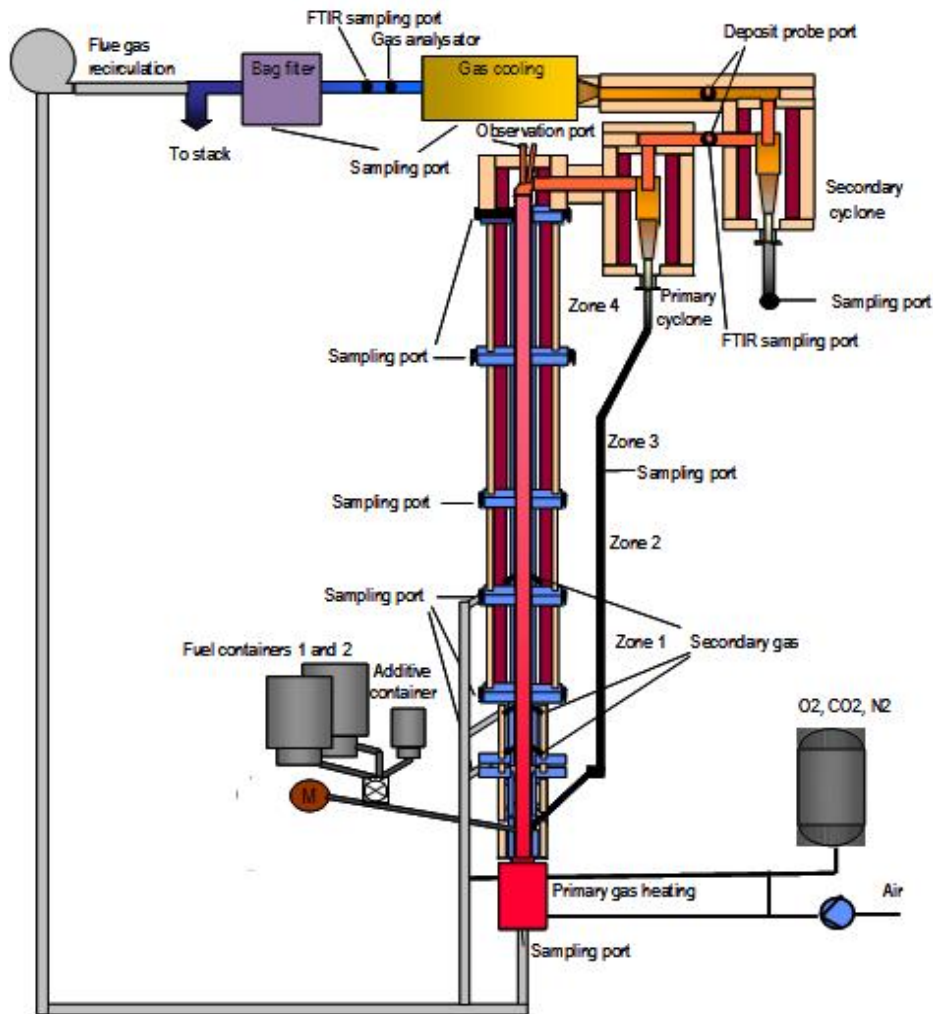
Kiertoleijupoltossa saavutetaan kuplivaan kerrosleijupolttoon verrattuna matalammat typpi- ja rikkioksidipäästöt, laajempi polttoainevalikoima sekä korkeampi palamishyötysuhde. Kuplivan kerrosleijupolton etuina voidaan puolestaan pitää yksinkertaisemmasta rakenteesta johtuvaa edullisempaa hintaa sekä parempaa soveltuvuutta myös hyvin märille polttoaineille. (Raiko, Kurki-Suonio, Saastamoinen & Hupa 1995, 417–418; Oka 2004, 21–25.)

### 2.1.1 CFB-koelaite

Kiertoleijupolton (CFB, Circulating Fluidized Bed) tutkimustoiminnassa tähdätään korkean hyötysuhteen kierto-leijuprosessin kehitykseen. Kiertoleijuprosessin eri aliliöiden kokeellinen tutkimus ja mallinnus ovat keskeinen osa kierto-leijun prosessi-

kehitystä. Tutkimuksessa saatua tietoa voidaan soveltaa teollisuudessa suuremman kokoluokan kattiloiden (600–800 MWe) suunnittelussa sekä niiden käytön optimoinnissa. Koetoiminnalla kerättyä prosessidataa voidaan hyödyntää esim. jäte- ja seospolttoaineiden käyttöön liittyvien perusasioiden tutkimisessa sekä hyötysuhteen ja käytettävyyden kannalta optimaalisten polttoaineseosten määrittelyssä. Koetoiminnan muita tärkeitä painoalueita ovat mm. päästöjen, lentotuhkan, kerrostumien muodostumisen ja korroosion sekä reaktionopeuksien tutkimus. Kiertoleijukoelaitte mahdollistaa perinteisemmän ilmapolton rinnalla myös happipolttoon sekä kemikaalikiertoon perustuvien kiertoleijutekniikoiden tutkimuksen. (Mikkonen 2009.)

Polttokoelaboratorion CFB-koelaitte (ks. kuvio 3) on polttoaineteholtaan n. 50 kW ja sen tulipesä muodostuu 8 m pitkästä, halkaisijaltaan 16,7 cm leveästä teräksisestä nousuputkesta. Tulipesän ympärillä olevat lämmitysvastukset, jäähdytysjärjestelmä sekä ilmajako mahdollistavat prosessiolosuhteiden joustavan hallinnan sekä kattilan lämpötilaprofiilin muokkaamisen haluttua tilannetta, esim. asiakkaan kattilan lämpötilaprofiilia vastaavaksi. Polttoaineensyöttö voidaan tarvittaessa hoitaa kahta erillistä syöttöjärjestelmää käyttäen, ja lisäaineena käytettävän kalkin syötölle on mahdollisuus erillistä linjaa pitkin. Prosessin lämpötilajakauman määrittäminen tehdään tulipesään eri korkeuksille asennettujen lämpötila-antureiden avulla. Eri puolilla koelaitetta on näytteenottoyhteitä, joita voidaan palamisprosessin tarkkailun lisäksi käyttää kiintoaine- ja kaasunäytteiden ottamiseen mm. raekokoanalyysia ja karakterisointia varten. Kiintoainekerrostumien ja korroosion muodostumista voidaan tutkia kerrostumasondien avulla. (Mt.)



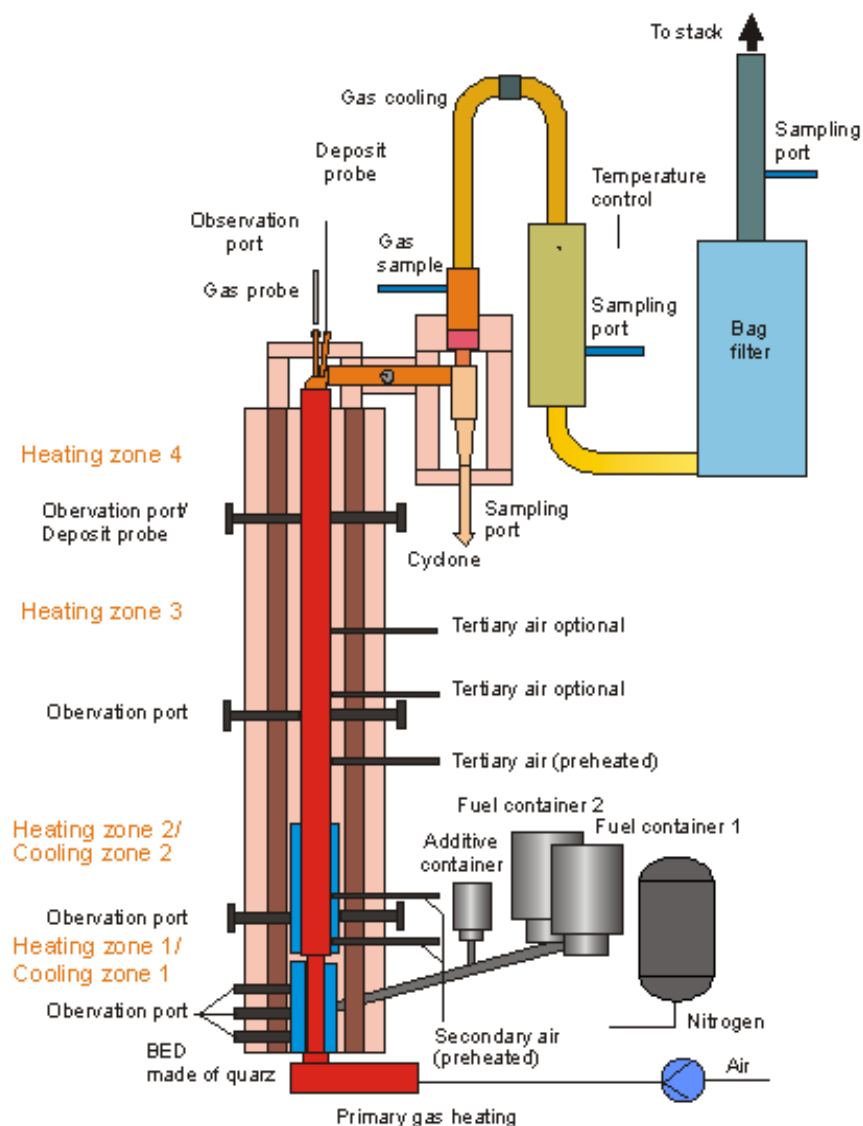
**KUVIO 3. Kiertoleijukoelaite (CFB, Circulating Fluidized Bed) (Mikkonen 2009)**

### 2.1.2 BFB-koelaite

Kerrosleijukolaitteella (BFB, Bubbling Fluidized Bed) tehtävä kokeellinen tutkimus keskittyy pääasiassa samoihin kohteisiin kuin kiertoleijun koetoimintakin. Tärkeimmistä yksittäistä tutkimusalueista voidaan mainita mm. palamisen päästöjen hallinta, tuhkan käyttäytymiseen liittyvät ongelmat sekä erityisesti hankalien polttoainejakoiden palamiskäyttäytymisen karakterisointi. (Mikkonen 2009.)

Polttoaineteholtaan BFB-koelaite (ks. kuvio 4) on n. 15 kW ja sen tulipesä muodostuu 4,1 m korkeasta, halkaisijaltaan 23 cm leveästä, teräksisestä nousuputkesta. Kerros-

leijukoelaitteen primäärikaasunlämmitin on yhteinen kierto-leijukoelaitteen kanssa. Kuten aiemmin esitellyssä CFB-kattilassa myös kerrosleijukoelaitteessa polttoaineen-syöttö on mahdollista kahden erillisen syöttöjärjestelmän kautta. Myös lisääineen syötölle on mahdollisuus omaa erillistä linjaansa pitkin. Kerrosleijukattilassa on koko tulipesän matkalla yhteet kaasu- ja kiintonäytteiden ottamista sekä esim. kerrostu-masondien käyttöä varten. Tulipesästä poistuvan kiintoaineen erottamista varten kattilassa on syklonierotin. Lisäksi erillisten letkusuotimien avulla voidaan kerätä len-totuhkanäytteitä pienhiukkaspäästöjen karakterisointia varten. (Mt.)



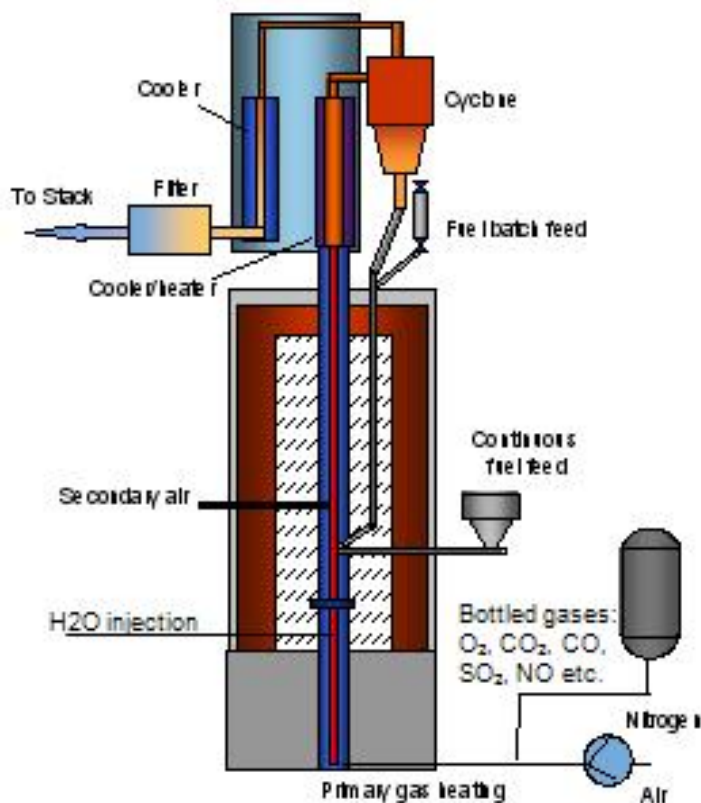
KUVIO 4. Kerrosleijukoelaite (BFB, Bubbling Fluidized Bed) (Mikkonen 2009)



### 2.1.3 Bench scale -koelaite

Laboratorio-kokoluokan bench scale -koelaitteen keskeiset tutkimuskohteet ovat pääasiassa vastaavia pilot-kokoluokan laitteiden kanssa, mutta laite soveltuu suurempia kattiloita paremmin pienten prosessinosien tarkempaan tutkimiseen. Sen avulla tehdään myös alustavia koeajoja, joiden perusteella voidaan etukäteen arvioida pilot-kokoluokan testien kannattavuutta.

Polttoaineteholtaan 200 W:n kattila muodostuu 0,6 m korkeasta ja halkaisijaltaan 33 mm leveästä tulipesästä. Polttoaineen syöttö voidaan toteuttaa jatkuvana tai panos-syöttönä. Kiintoaineiden erottamista varten koelaitteessa on sykloni ja erillinen suodatin. Se voi toimia sekä kierto- että kuplaleijutilassa ja lisäksi erilaisten primäärikääsujen käyttö on mahdollista. Bench Scale -koelaitteen rakenne on esitetty kuviossa 5. (Mikkonen 2009.)

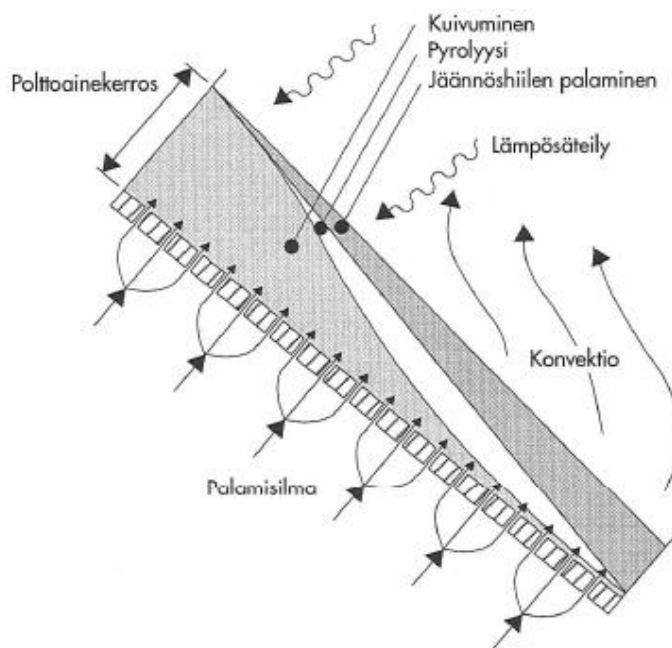


KUVIO 5. Bench scale -koelaite (CFB/BFB) (Mikkonen 2009)

## 2.2 Arinapoltto ja arinakoelaite

Teollistumiskauden alusta lähtien arinapoltto on ollut pienten ja keski suurten kattiloiden yleisin kiinteiden polttoaineiden polttomenetelmä. Arinapolton sovellutusalue on laaja. Se kattaa kokoluokat pienistä 15 kW:n omakotitalokattiloista aina 30 000 kW:n yhdyskuntajäte kattiloihin asti. Kuitenkin suuremmissa, yli 5 MW, teholuokissa ovat uudemmat, pääasiassa leijutukseen perustuvat polttomenetelmät, voimakkaasti syrjäyttäneet arinapolttoa. Tätä pienemmässä kokoluokassa arinapoltto on edelleen käytetyin kiinteiden polttoaineiden polttotekniikka. (Raiko, Kurki-Suonio, Saastamoinen & Hupa 1995, 393.)

Kiinteiden polttoaineiden laajan valikoiman ja hyvin erilaisten ominaisuuksien vuoksi on arinoiden rakenteissa ja tulipesissä huomattavia eroja. Osaltaan arinaratkaisujen kirjavuutta lisää myös valmistajien suuri määrä. Tästä huolimatta kuvion 6 arinapolton periaatekuva soveltuu sellaisenaan hyvin useimmille arinatyypeille. (Mts. 393–394.)

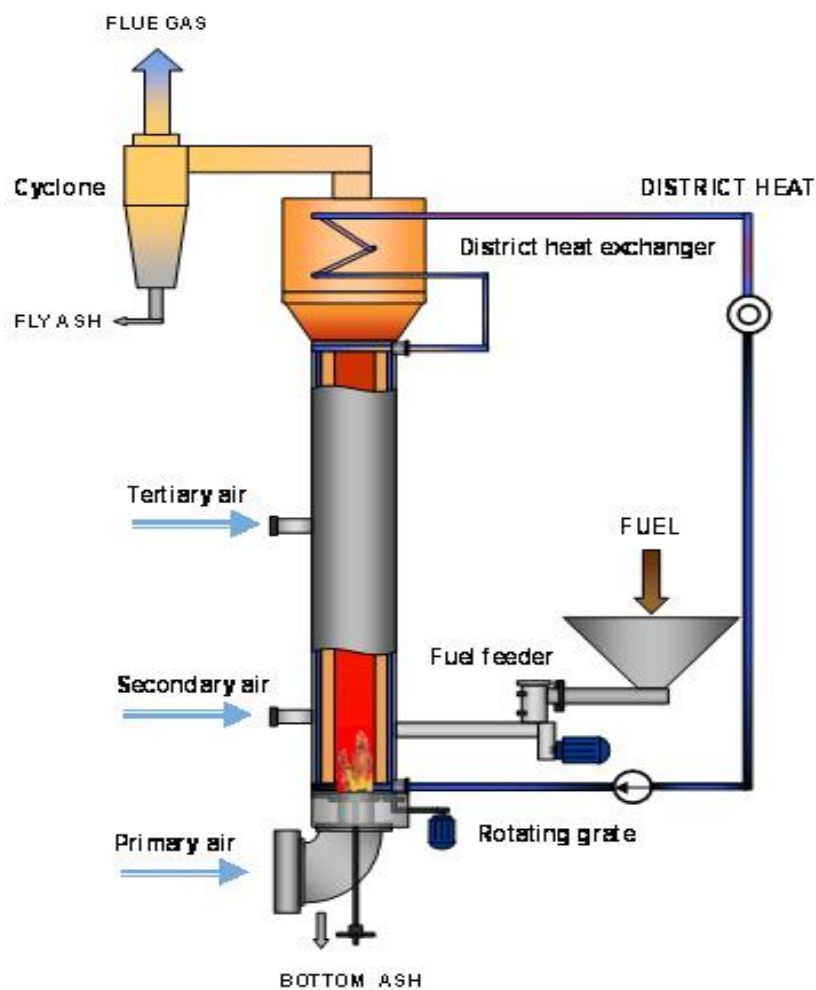


**KUVIO 6. Kiinteän polttoaineen poltto arinalla (Raiko, Kurki-Suonio, Saastamoinen & Hupa 1995, 393)**

## Arinakoelaite

Arinakoelaitteella tehtävässä tutkimustoiminnassa pyritään löytämään uusia keinoja, joilla voidaan vähentää päästöjä, optimoida polttoaineen laatua, parantaa polttoaineensyöttöä sekä helpottaa yleistä polttoprosessin hallintaa. Koetoimintaa tehdään yhteistyössä johtavien arinakattiloiden toimittajien kanssa. (Mikkonen 2009.)

Polttokoelaboratorion arinakattila (ks. kuvio 7) on polttoaineteholtaan n. 100 kW. Arinatyyppiltään koelaite on pyörivä arina, ja automaattisen polttoaineensyötön lisäksi se on varustettu savukaasujen analyysilaitteistolla. Tuhkanäytteitä saadaan arinan pohjatuhkasta sekä savukaasuista syklonin avulla erotetusta lentotuhkasta. (Mt.)



KUVIO 7. Arinakoelaite (Mikkonen 2009)

## 3 PROSESSINOHJAUSJÄRJESTELMÄ

Luvussa 2 esiteltujen polttokoelaitteiden ohjaaminen oli aiemmin toteutettu simuloititasoisella laboratoriosovelluksella, mutta sittemmin toimintavarmuuden ja turvallisuuden vaatimusten lisääntyttyä, mm. happipolttotutkimuksen myötä, on kaikkien neljän polttokoelaitteen hallinnassa siirrytty käyttämään Siemensin SIMATIC PCS7 -prosessinohjausjärjestelmää. Tässä luvussa käsitellään SIMATIC PCS7 -prosessinohjausjärjestelmän yleistä arkkitehtuuria sekä esitellään polttokoelaboratorion järjestelmän rakenne. (Mikkonen 2009.)

### 3.1 SIMATIC PCS7 -arkkitehtuuri

Skaalattavuuden johdosta PCS7-prosessinohjausjärjestelmä voi pienimmillään olla yksi tietokone, joka sisältää kaikki automaatiojärjestelmän ominaisuudet, mutta se soveltuu hyvin myös koko tehtaan kattavan automaatiojärjestelmän toteuttamiseen. Järjestelmän laajuudesta riippumatta sen tärkeimmät pääosat ovat suunnitteluasema, operointiasema ja prosessiasema. Prosessiasema liittyy I/O-yksiköiden sekä kenttälaitteiden avulla fyysisesti prosessiin. Kommunikointiväylät mahdollistavat järjestelmän laitteiden välisen tiedonsiirron. Seuraavissa kappaleissa esitellään yleisesti SIMATIC PCS7 -prosessinohjausjärjestelmän pääosat. Yleinen järjestelmäarkkitehtuuri on kuvattu liitteessä 1. (SIMATIC PCS7 2010, 10–11.)

#### 3.1.1 Suunnitteluasema

PCS7-projektin suunnittelu, hallinnointi, arkistointi sekä dokumentointi voidaan tehdä keskitetysti suunnitteluasemalla (ES, Engineering System). Suunnitteluaseman ydin on SIMATIC Manager -ohjelma, joka tarjoaa erilliset työkalut koko projektin lait-

teiston ja kommunikointiväylien konfigurointiin sekä itse prosessinohjauksen sovellusohjelmien suunnitteluun. Keskitetystä projektinhallinnasta huolimatta useampi suunnittelija voi työskennellä saman projektin kanssa samanaikaisesti. (SIMATIC PCS7 2010, 16–17.)

SIMATIC Manager tarjoaa PCS7-projektin suunnittelijalle kolme erilaista näkymää projektista: komponenttinäkymän, tehdasnäkymän ja prosessiobjektinäkymän. Komponenttinäkymä on tarkoitettu järjestelmän laitteisto-, väylä- ja I/O-konfigurointia varten. Tehdasnäkyä mahdollistaa järjestelmän hierarkkisen suunnittelun prosessin tai tehtaan loogisen rakenteen mukaan. Prosessiobjektinäkymä tarjoaa tavan prosessinohjauselementtien ominaisuuksien, kuten viestien, hälytysrajojen, arkistoitavien mittauksen ym. määrittelyyn. (Mts. 17–18.)

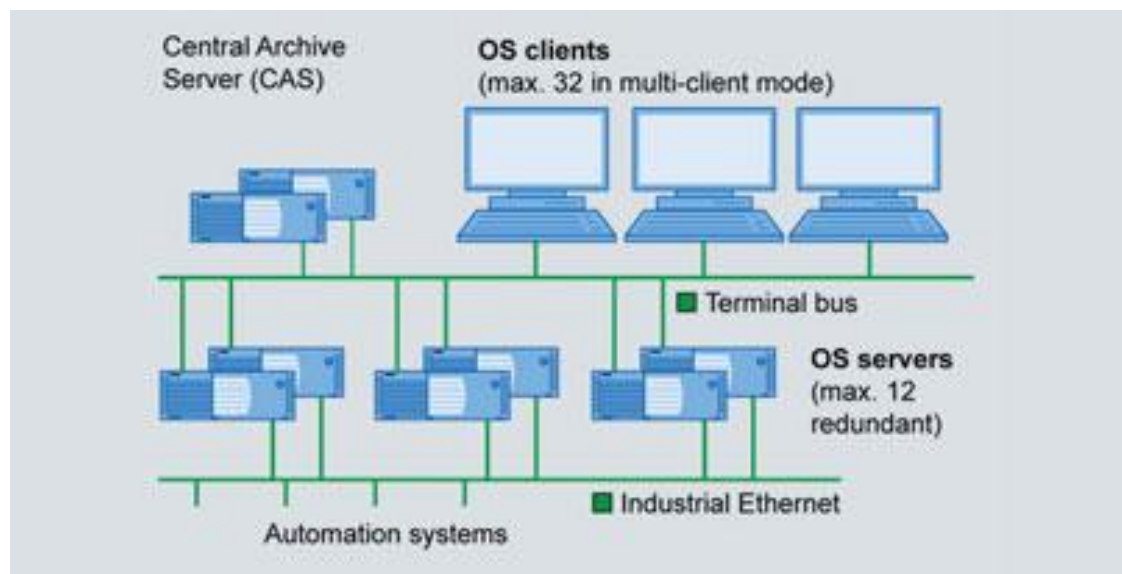
Suunnittelujärjestelmässä on valmiita kirjastoja, kuten Standard Library ja Advanced Process Library, joiden sisältämiä ohjelmalohkoja voidaan käyttää sovellusohjelmien suunnittelussa. Varsinainen sovellussuunnittelu voidaan toteuttaa käyttämällä esim. CFC-(Continuous Function Chart) ja SFC (Sequential Function Chart)-editoreita. CFC-editori on tarkoitettu jatkuvien prosessiohjausten suunnitteluun, kun taas SFC-editorilla voidaan toteuttaa epäjatkuvia sekvenssityyppisiä ohjaustoimintoja. Valmiiden kirjastolohkojen lisäksi suunnittelijalla on mahdollisuus muokata ja ohjelmoida uusia CFC-lohkoja käyttämällä esim. SCL-editoria. Suunnittelutyökalut mahdollistavat sovellusohjelmien simuloinnin suunnitteluasemalla ennen prosessiasemalle latausta. (Mts. 18–21.)

### 3.1.2 Operointiasema

Operointiasema (OS, Operator System) toimii prosessinohjausjärjestelmässä koneen ja prosessin käyttäjän välisenä rajapintana (HMI, Human Machine Interface). Operointiasema mahdollistaa prosessin toiminnan tarkkailun ja prosessinohjaukseen puuttumisen valvomosta käsin. PCS7-operointiasema tukee prosessinäyttöjen hie-

rarkkista rakennetta, joka mahdollistaa aliprosessien näyttöjen valitsemisen suoraan prosessialueelta. Valvomonäyttöjen generointi voidaan tehdä suoraan edellisessä kappaleessa esitellyn suunnitteluaseman tehdasnäkymän perustella. (SIMATIC PCS7 2010, 27.)

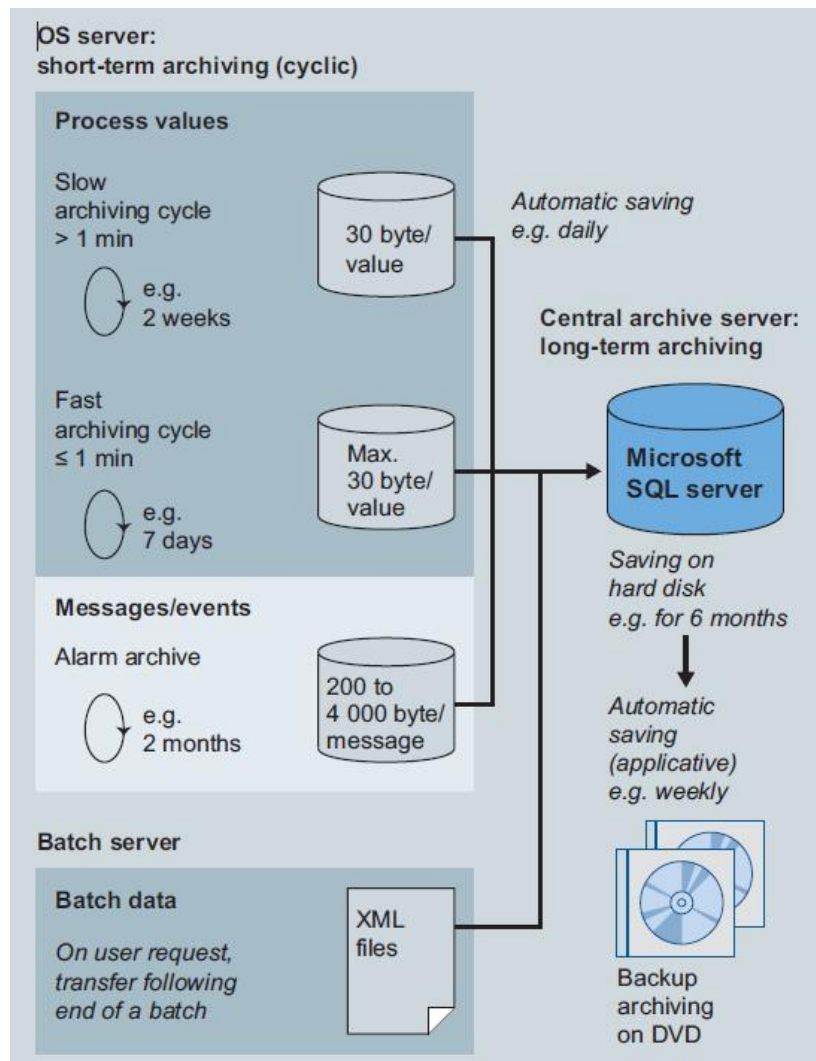
Arkkitehtuuriltaan PCS7-operointijärjestelmä voi olla itsenäinen asema (single-user/single station), jolloin projektin monitorointi ja operointi on keskitetysti yhdellä asemalla, tai palvelin-/asiakasarkkitehtuuriin perustuva monikäyttäjäjärjestelmä (ks. kuvio 8), jolloin maksimissaan 32 asiakaskonetta (OS client) voi osallistua järjestelmäväylän ja palvelinkoneiden (OS server) välityksellä prosessin operointiin. Luotettavuuden ja käytettävyyden parantamiseksi OS-palvelimet voivat toimia myös ns. redundanttisessa eli kahdennetussa tilassa, jolloin esim. kahden OS-palvelimen redundanttisessa järjestelmässä toisen palvelinkoneen vikaantuessa toinen OS-palvelin ottaa vastuun prosessin operoinnista. Prosessin operointi Internetin välityksellä on myös mahdollista SIMATIC PCS7 Web serveriä käyttämällä. (Mts. 27–28.)



**KUVIO 8. SIMATIC PCS7 -operointijärjestelmän palvelin/asiakas-arkkitehtuuri (SIMATIC PCS7 2010, 28)**

### 3.1.3 Arkistointi

SIMATIC PCS7 -operointiaseman ohjelmistoon kuuluu sisäinen SQL-palvelimeen perustuva arkistointitoiminto (ks. kuvio 9), jolla prosessista saatu mittaus- ja ohjausdata, sekä viestit, tapahtumat ja hälytykset voidaan arkistoida suoraan prosessista ns. lyhytaikaiseen arkistoon (short-term archive). Lyhytaikaisen arkiston koko vaihtelee tyypillisesti ajallisesti muutamasta viikosta kuukauteen. Pitkäaikaista arkistointia (long-term archive) varten voidaan järjestelmään lisätä esimerkiksi erillisen lisenssin vaativa, keskitetty arkistointi palvelin (CAS, Central Archive Server). (SIMATIC PCS7 2010, 34.)



KUVIO 9. OS-arkistointi (SIMATIC PCS7 2010, 34)

Arkistoinnin asetuksista voidaan määritellä mitä arkistoidaan, millä syklillä, minkä tyyppistä arkistoa käytetään ja kuinka suuri on lyhytaikaisen arkiston koko. Kuvion 9 mukaisesti prosessidatalle on määriteltävissä kahdentyyppisiä arkistoja: Taglogging Slow ja Taglogging Fast. Tavallisesti alle minuutin arkistointisyklillä käytetään viimeksi mainittua, jossa tallennettavien arvojen suuremman määrän vuoksi käytetään datan kompressointia. Myös hälytyksille on olemassa oma arkistotyyppinsä. Lisäksi järjestelmä mahdollistaa omien arkistojen luomisen oletuksena syntyvien arkistojen rinnalle. Käyttäjän itse määrittelemät arkistot voivat olla joko suoraan prosessidataa tallentavia arkistoja tai jo olemassa olevasta arkistosta luotuja kompressoituja arkistoja. (SIMATIC PCS7 2010, 27-36; Process Control System PCS 7 Operator Station (V7.1) - Configuration Manual 2009, 231–232.)

Käytännössä prosessidataa tallentava arkisto koostuu segmenteistä, joiden koko voidaan määritellä halutuksi. Tavallisesti suositus on käyttää alle 700 MB:n kokoisia segmenttejä, koska suuremmat segmentit eivät ole optimaalisia arkiston suorituskyvyn kannalta. Vaihtoehtoisesti segmentointi voidaan määritellä myös ajallisesti. Kun segmentin koko tai aika, esim. vuorokausi tulee täyteen, luodaan uusi segmentti, jonne arkistointia jatketaan. Myös koko arkistolle voidaan antaa koko- ja aikamäärittelyt. Kun koko arkisto saavuttaa sille asetetut koko- tai aikamäärittelyt, vanhin segmentti poistetaan. Käytännössä arkiston kierto noudattaa siis ns. FIFO-periaatetta (First In First Out). Yhdelle arkistolle suositeltava segmenttien enimmäismäärä on 200. (SIMATIC PCS7 2010, 27-36; Process Control System PCS 7 Operator Station (V7.1) - Configuration Manual 2009, 231, 233.)

Jotta arkistoitua dataa ei menetettäisi, voidaan arkistolle määritellä varmuuskopio-toiminto, joka kopioi uuden täyttyneen segmentin esim. verkkolevylle. Varmuuskopioinnille on määriteltävissä ensisijaisen tallennuspaikan lisäksi toissijainen varatallennuspaikka. Segmentin varmuuskopio tehdään toissijaiseen paikkaan, mikäli tallennus ensisijaiseen paikkaan ei, esim. verkkohäiriön vuoksi, onnistu. Kuten jo aiemmin mainittiin, voidaan varmuuskopioinnin lisäksi pitkäaikaista arkistointia (long-term archive) varten lisätä järjestelmään keskitetty arkistopalvelin (CAS, Central Archive Ser-



ver), joka voidaan myös kahdentaa luotettavuuden parantamiseksi. (SIMATIC PCS7 2010, 27-36; Process Control System PCS 7 Operator Station (V7.1) - Configuration Manual 2009, 235.)

### 3.1.4 Prosessiasema

Prosessinohjausjärjestelmän ytimen muodostaa prosessiasema (AS, Automation System), jossa varsinaista prosessinohjausta varten tehtyä sovellusohjelmaa suoritetaan. SIMATIC PCS7 -prosessinohjausjärjestelmä voidaan toteuttaa useita erilaisia prosessiasemavaihtoehtoja käyttäen. Standardiratkaisuissa PCS7-järjestelmä perustuu SIMATIC S7 400 -sarjan prosessiasemiin, mutta suorituskykyvaatimuksiltaan pienemmissä prosesseissa voidaan S7-400 -logiikoiden sijasta käyttää myös SIMATIC PCS7 AS RTX -sarjan ohjelmistopohjaisia prosessiasemia. SIMATIC S7-400-prosessiasemien rakenne on modulaarinen, mikä tekee niistä prosessin tarpeisiin helposti skaalautuvia sekä mahdollistaa järjestelmän laajentamisen myöhemmässä vaiheessa. Esimerkiksi kommunikointiliitännöitä voidaan lisätä erillisten kommunikointimoduulien, kuten CP1613 Ethernet -moduulin avulla. (SIMATIC PCS7 2010, 40–41.)

Ohjattavan prosessin vaatimusten mukaan voidaan prosessiasema toteuttaa: yksittäisenä standardiprosessiasemana, vikasietoisuudeltaan parempana kahdennettuna H-sarjan (High availability) prosessiasemana, F-sarjan (Fail-safe) turvallisuuskriittisiin sovelluksiin tarkoitettuna prosessiasemana tai kahden edellisen yhdistelmänä (FH). (Mts. 41.)

Kahdennettu prosessiasema-arkkitehtuuri sopii korkean käytettävyydestason vaativiin prosesseihin, joissa riski prosessin toiminnan keskeytymiselle halutaan minimoida. Käytännössä kahdennetun prosessiaseman järjestelmässä prosessia ohjaavan aseman vikaantuessa prosessinohjaus siirtyy valmiustilassa olevalle prosessiasemalle. Kahdennetut prosessiasemat ovat tyypiltään SIMATIC S7-400H -sarjaa (H, High availability). (Mts. 42–43.)

F/FH -sarjan prosessiasemat on tarkoitettu turvallisuudeltaan kriittisiin prosesseihin, joissa järjestelmän vikaantuminen voi johtaa vakaviin henkilö- tai ympäristövahinkoihin. F/FH -luokitettut tuotteet pystyvät omien diagnostiikkatoimintojensa avulla havaitsemaan järjestelmän sisäiset viat ja tarvittaessa ajamaan prosessin turvalliseen tilaan. F/FH -sarjan prosessiasemat ja I/O-moduulit mahdollistavat turvaluokituksen IEC 61508 -standardin SIL 3 tasoon asti. F-sarjan tuotteiden tunnusmerkki on keltainen väri. (Mts. 43–44.)

### 3.1.5 Prosessiliitynnät

SIMATIC PCS7 -prosessinohjausjärjestelmässä kenttälaitteiden liittäminen prosessiasemaan on mahdollista toteuttaa eri tavoin. Modulaarisiin S7-400 -prosessiasemien yhteyteen voidaan suoraan liittää I/O-kortteja (analogiset/ digitaaliset tulot ja lähdöt), joihin kenttälaitteet liitetään. Käytännössä kuitenkin nykyaikaisissa automaatiojärjestelmissä kenttälaitteiden tulo- ja lähtöpiirien kytkennät pyritään viemään prosessiaseman luota mahdollisimman lähelle itse laitteita. Tällainen toteutustapa helpottaa mm. kaapelointia, pienentää kaapelointivirheiden todennäköisyyttä sekä vähentää itse kaapeloinnin kustannuksia.

SIMATIC PCS7 -järjestelmässä tämä hajautetuksi I/O:ksi kutsuttava arkkitehtuuri toteutetaan tavallisesti käyttämällä SIMATIC ET200 -sarjan hajautusasemia tai älykkäitä, suoraan Profibus-väylään liitettäviä, kenttälaitteita, jotka kommunikoivat prosessiaseman kanssa suoraan Profibus-väylää käyttäen. ET200-sarjan hajautusasemat mahdollistavat, suoraan Profibus yhteensopimattomien, perinteisesti kaapeloitavien kenttälaitteiden hajautetun liittämisen automaatiojärjestelmään. Kommunikointi prosessi- ja hajautusasemien välillä toteutetaan SIMATIC ET200 -sarjan tuotteissa tavallisesti Profibus- tai Profinet-kenttäväylän avulla. (SIMATIC PCS7 2010, 52.)

### 3.1.6 Väyläjärjestelmät

Prosessinohjausjärjestelmissä laitteiden väliseen kommunikointiin käytettävät väyläratkaisut ovat yleisellä tasolla jaoteltavissa seuraavasti:

- Järjestelmäväylät
- I/O-väylät
- Kenttäväylät
- Yhteydet muihin järjestelmiin.

Järjestelmäväylät ovat prosessinohjausjärjestelmän ylemmän tason väyläratkaisuja, joiden tehtävä on välittää tietoa järjestelmän prosessi- ja operointiasemien välillä. Esimerkiksi ohjauskäskyt operointiasemalta prosessiasemalle välitetään järjestelmäväylän avulla. I/O-väyliä käytetään perinteisesti prosessiasemien ja I/O-kaappeihin keskitettyiden I/O-yksiköiden välisen kommunikoinnin toteuttamiseen. Kenttäväyliä, kuten Profibus DP/PA, FOUNDATION Fieldbus ja ASi, tarkoitus on I/O-väyliä tapaamaan huolehtia kenttälaitteiden ja I/O-yksiköiden sekä prosessiaseman välisestä kommunikoinnista. Lisäksi prosessinohjausjärjestelmä voi olla yhteydessä muihin järjestelmiin, kuten esimerkiksi toimistoverkkoon, tiedonkeruujärjestelmään tai muihin prosessinohjausjärjestelmiin. (Joronen, Kovács & Majanne 2007, 198–199.)

Siemens SIMATIC NET sisältää tuen seuraaville väylille

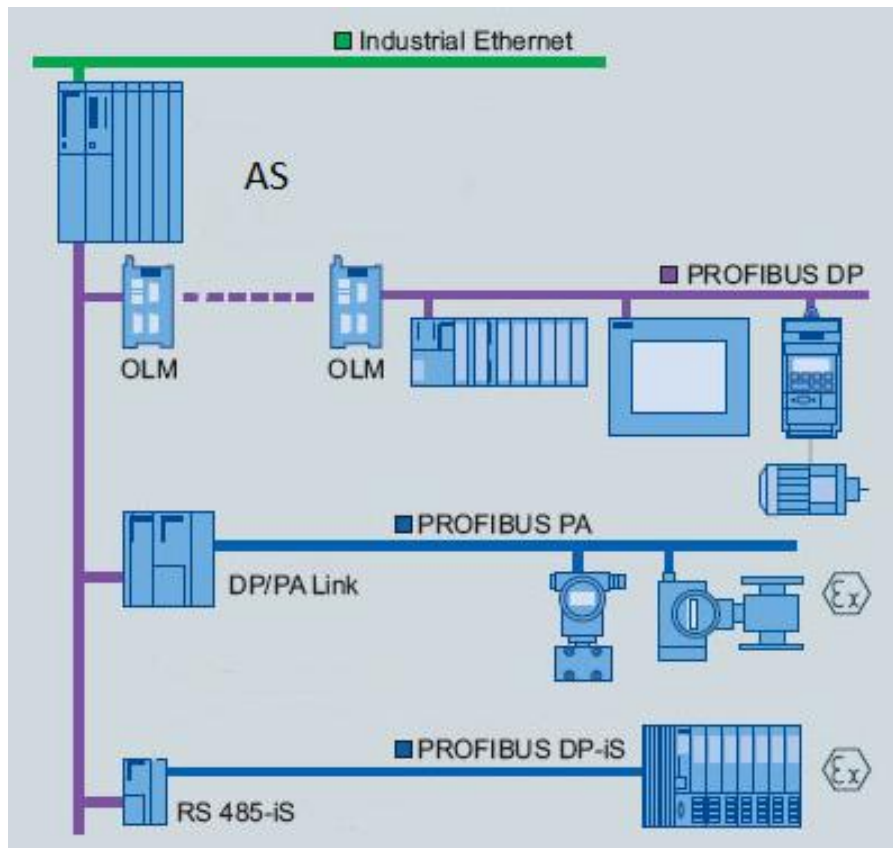
- Profibus
- Teollisuus-Ethernet
- Profinet
- Langaton tiedonsiirto
- Väylämuunnokset

## Profibus-väylät

Profibus-väylää käytetään tavallisesti kenttälaitteiden ja hajautetun I/O:n kytkemiseen prosessiasemaan. Profibus-väylä mahdollistaa nopeat vasteajat ja siitä löytyy oma protokollansa eri sovelluksiin. Yleisimmin käytössä olevat protokollat ovat Profibus DP ja PA. (SIMATIC PCS7 2010, 48.)

Profibus DP (Distributed Periphery) on suunniteltu hajautetun I/O:n, esimerkiksi ET200-moduulien, ja prosessiasemien väliseen kommunikointiin. Sitä voidaan käyttää myös yhteensopivien kenttälaitteiden, kuten joidenkin taajuusmuuttajien, kytkemiseen suoraan prosessiasemaan. Profibus-signaali voidaan viedä myös optisena Profibus OLM (Optical Link Module) -moduulien avulla. Tämä parantaa väylän suorituskykyä pitkillä välimatkoilla sekä antaa suojaa sähkömagneettisia häiriöitä vastaan. (Mts. 48–50.)

Profibus PA (Process Automation) -väylää käytetään kenttälaitteiden, kuten pneumaattisten asennoittimien, venttiilien, antureiden ym. kytkemiseen järjestelmään. Tiedonsiirron ohessa Profibus PA -väylä mahdollistaa myös tehonsiirron kenttälaitteille samalla kaapeloinnilla. Profibus PA -väylä soveltuu käytettäväksi myös räjähdysherkillä tai muuten vaarallisilla alueilla. Käytännössä Profibus PA -väylä muunnetaan usein DP/PA -muunninmoduulien avulla DP-väyläksi, jolla yhdistytään prosessiasemaan (ks. kuvio 10). (Mts. 48–50.)



KUVIO 10. Profibus DP ja PA tiedonsiirtotapoja (SIMATIC PCS7 2010, 48)

### Teollisuus-Ethernet ja Profinet

Ethernet-standardeihin perustuva teollisuus-Ethernet (IEEE 802.3 ja 802.3u) on tällä hetkellä korkean suorituskykynsä, helpon laajennettavuutensa ja yksinkertaisen kaapelointinsa ansiosta yleistynyt verkkoratkaisu teollisuuden lähiverkoissa (LAN, Local Area Network) ja järjestelmäväylissä. PCS7-järjestelmissä verkkosovittimina voidaan käyttää standardeja Ethernet-verkkokortteja tai vaihtoehtoisesti parempaa suorituskykyä vaativiin järjestelmiin on saatavilla omalla prosessorilla varustettuja verkkokortteja, kuten esimerkiksi Siemensin CP1613 A2. Myös Gigabit Ethernet ja Fast Ethernet -teknologiat ovat tuettuja. (SIMATIC PCS7 2010, 45.)

Teollisuus-Ethernet -kytkimet ovat standardiratkaisu laitteiden, kuten prosessi- ja operointiasemien liittämiseksi väylään. Esimerkiksi Siemensin SCALANCE X -kytkinperheen tuotteet on suunniteltu teollisuusympäristöön hyvin sopiviksi. (Mts. 46.)

Automaatioprosessien ohjaus asettaa Ethernet-protokollalle lisävaatimuksia toimitoverkoissa käytettävään Ethernetiin verrattuna. Tiedonsiirron on oltava mahdollisimman reaaliaikaista ja ennustettavaa. Teollisuus-Ethernet ei täysin pysty täyttämään tätä vaatimusta, sillä siinä ei pystytä takaamaan, että tieto siirtyy määrätysajassa lähettäjältä vastaanottajalle. Tämän vuoksi on kehitetty Profinet-standardi, jossa teollisuus-Ethernetin puutteet on korjattu. Profinet on siis teollisuussovelluksiin tarkoitettu Ethernet-standardi, eikä sillä nimestään huolimatta ole juurikaan yhteistä Profibus-väylän kanssa. (Mts. 45.)

### Väylämuunnokset

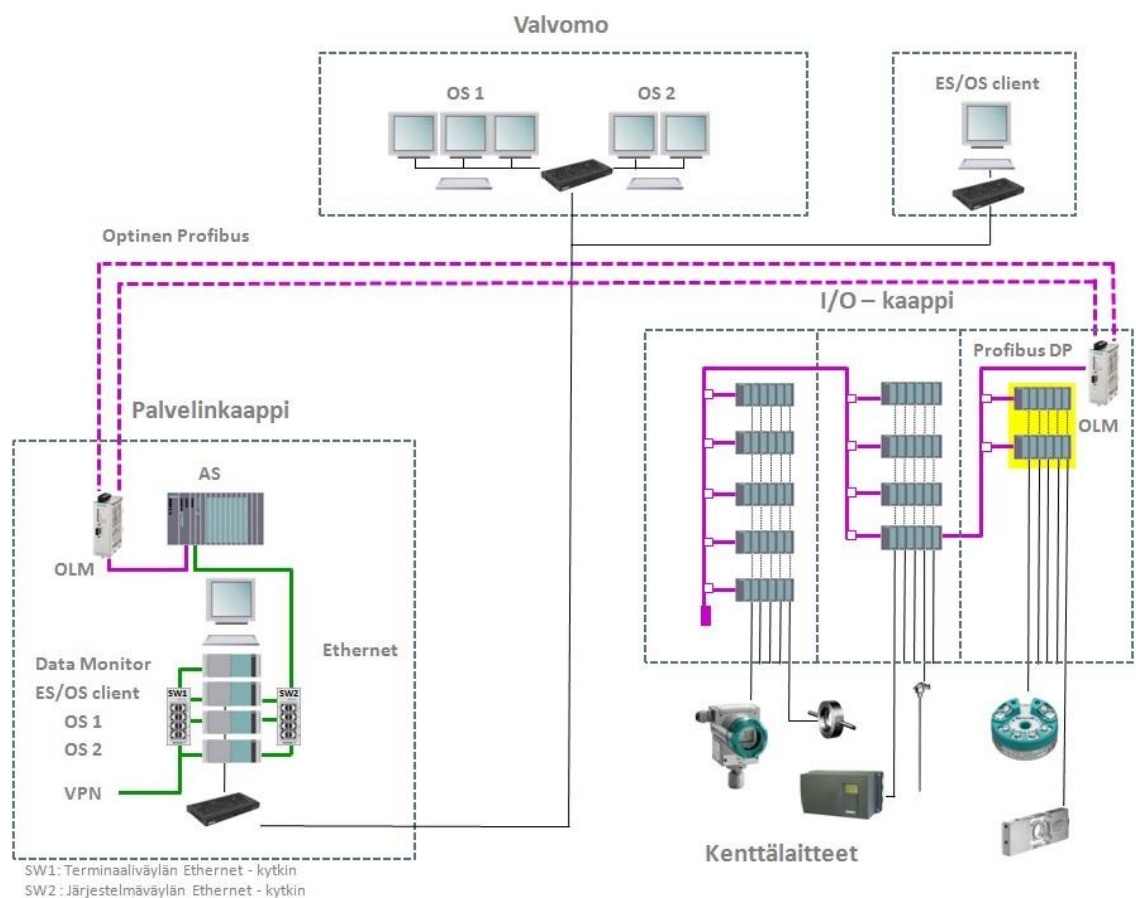
Automaatiojärjestelmissä käytettävien useiden erilaisten väyläratkaisuiden ja protokollien vuoksi väylämuunnokset ovat järjestelmän toiminnan kannalta välttämättömiä. Väylämuunnoksia voidaan käytännössä tehdä siihen tarkoitetuilla linkkilaitteilla, prosessiasemalla tai PC:llä. Tavallisesti, jos väylämuunnos halutaan tehdä ilman muuta tiedonkäsittelyä, se toteutetaan linkkilaitteiden avulla. Luvussa 3.1.4.1, Profibus DP- ja PA-väylien, yhteydessä sivuttiin väylämuunnoksia Profibus DP/PA -linkki- ja toistinlaitteiden yhteydessä. Edellä mainittujen lisäksi tavallisimpia linkkilaitteita ovat

- IE/PB -linkki Ethernet- ja Profibus-väylille,
- IE/AS-i -linkki Ethernet ja As-i -väylille,
- DP/AS-I -linkki Profibus DP- ja As-i -väylille
- IWLAN/PB -linkki Teollisuuden WLAN verkoille ja Profibus-väylille

Myös FOUNDATION Fieldbus -väylän liittäminen SIMATIC PCS7 -järjestelmään on mahdollista. (SIMATIC PCS7 2010, 45, 48–49.)

### 3.2 Polttokoelaboratorion SIMATIC PCS7 - prosessinohjausjärjestelmä

Polttokoelaboratorion PCS7-prosessinohjausjärjestelmä käsittää varsinaisen prosessinohjauksen (DCS, Distributed Control System) lisäksi myös Turvallisuuteen Liittyvän Järjestelmän (TLJ). Nykyisellään järjestelmä täyttää SIL (Safety Integrity Level) - tason 2 vaatimukset. Kokonaisuus on toteutettu yhdellä sekä DCS:ää että TLJ:tä ohjaavalla prosessiasemalla (AS), kahdella palvelintyyppisellä operointiasemalla (OS server) sekä yhdellä asiakasoperointiasemalla (OS client), joka toimii samalla myös suunnitteluasemana (ES). Lisäksi järjestelmässä on neljäntenä PC-asemana Siemensin Data Monitor -ohjelmistolla varustettu PC tiedonkeruu- ja analyysitoimintoja varten. Prosessi-liityntä on hajautettu SIMATIC ET200M-linkkimoduulien avulla. Kuvion 11 layout-kuvasta nähdään miten järjestelmän komponentit on sijoitettu.



**KUVIO 11. Polttokoelaboratorion PCS7-prosessinohjausjärjestelmän layout-kuva**

### 3.2.1 Hajautettu I/O

I/O-kaapit on sijoitettu polttohalliin, lähelle kattiloita ja kenttälaitteita. Tällä hetkellä kaikki kenttälaitteiden IO-kytkennät ovat perinteisiä virta- tai jänniteviestejä, mutta tuki HART- sekä Profibus PA -laitteille on olemassa. Alla olevassa taulukossa 1 järjestelmän I/O-pisteet on esitelty laitekohtaisesti.

**TAULUKKO 1. Polttokoelaitteiden IO-pisteet**

Laitteet	DI	DO	AI	AO	PWM	Yhteensä
CFBC ja BFB yhteiset	19	10	18	11	2	60
CFBC	17	34	101	12	13	177
BFB	9	20	46	1	10	86
Arina	26	17	55	12	3	113
BenchScale	6	9	26	6	7	54
Kerrostumasondi	0	0	12	2	0	14
Nousuputkisondi	0	6	9	2	4	21
FTIR	1	0	7	0	0	8
Analyysi-1	2	0	4	0	0	6
Analyysi-2	2	0	6	0	0	8
<b>DCS</b>	<b>82</b>	<b>96</b>	<b>284</b>	<b>46</b>	<b>39</b>	<b>547</b>
<b>TLJ</b>	<b>26</b>	<b>18</b>	<b>35</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>79</b>

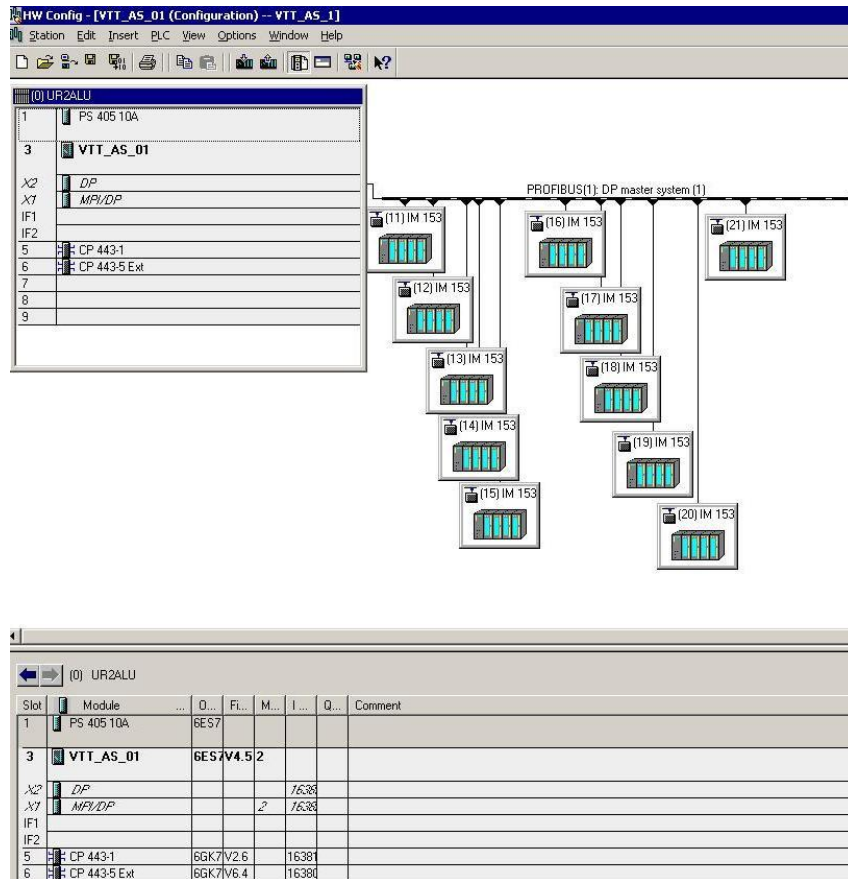
Taulukosta 1 nähdään, että kaikissa neljässä kattilassa on tällä hetkellä DCS- ja TLJ-positiot yhteenlaskettuna 626 I/O-pistettä. Koska kyseessä on jatkuvasti kehittyvä tutkimuslaitteisto, on I/O-pisteille laskettu myös laajennusvara tulevaisuutta ajatellen. Tämä laajennusvara on otettu huomioon myös hajautetun I/O:n korttien hankinnan yhteydessä. Taulukossa 2 on esitetty järjestelmän tämän hetkiset I/O-kortit:

**TAULUKKO 2. I/O-kortit**

Korttityyppi	Malli	Siemens tuotenumero	kpl
I/O-linkkimoduuli	ET200M/Link	6ES7153-2BA02-0XB0	11
Digitaalitulo	DI 32xDC 24V	6ES7321-1BL00-0AA0	4
Digitaalilähtö	DO 32xDC 24V/0,5A	6ES7322-1BL00-0AA0	7
Analogiatulo	AI 8x12Bit	6ES7331-7KF02-0AB0	18
Analogiatulo	AI 8xTC	6ES7331-7PF11-0AB0	25
Analogiatulo	AI 8x16 Bit	6ES7331-7NF10-0AB0	4
Analogialähtö	AO 8x12Bit	6ES7332-5HF00-0AB0	8
Analogialähtö	AO 4x16Bit	6ES7332-7ND02-0AB0	4
F-sarjan analogiatulo	F-AI 6x0/4...20mA HART	6ES7336-4GE00-0AB0	8
F-sarjan digitaalilähtö	F-DO 10xDC24/2A	6ES7326-2BF01-0AB0	3
F-sarjan digitaalitulo	F-DI 24xDC24V	6ES7326-1BK02-0AB0	2



Keltaisella pohjalla esitetyt kortit ovat Fail-safe -sarjan turvaluokiteltuja kortteja. I/O-kortit on jaettu, kuvion 12 mukaisesti 11 kehikkoon, jotka on sijoitettu kolmeen vierekkäiseen I/O-kaappiin. Jokainen I/O-kehikko yhdistyy Profibus DP -väylään ET200M-sarjan linkkimoduulin kautta. Seuraavassa kuvassa on esitetty I/O-moduulien konfiguraatio SIMATIC Managerin HW configissa.



**KUVIO 12. Prosessiaseman, I/O-moduulien ja Profibus DP -väylän laitteistokonfiguraatio**

### 3.2.2 Prosessiasema

Prosessiasema (AS, Automation System) ja PC-asemat on sijoitettu kuvion 11 mukaisesti samaan palvelinkaappiin. Itse palvelinkaappi on sijoitettu erilliseen tilaansa polttohallin ulkopuolelle. Taulukossa 3 on eritelty prosessiaseman komponentit:

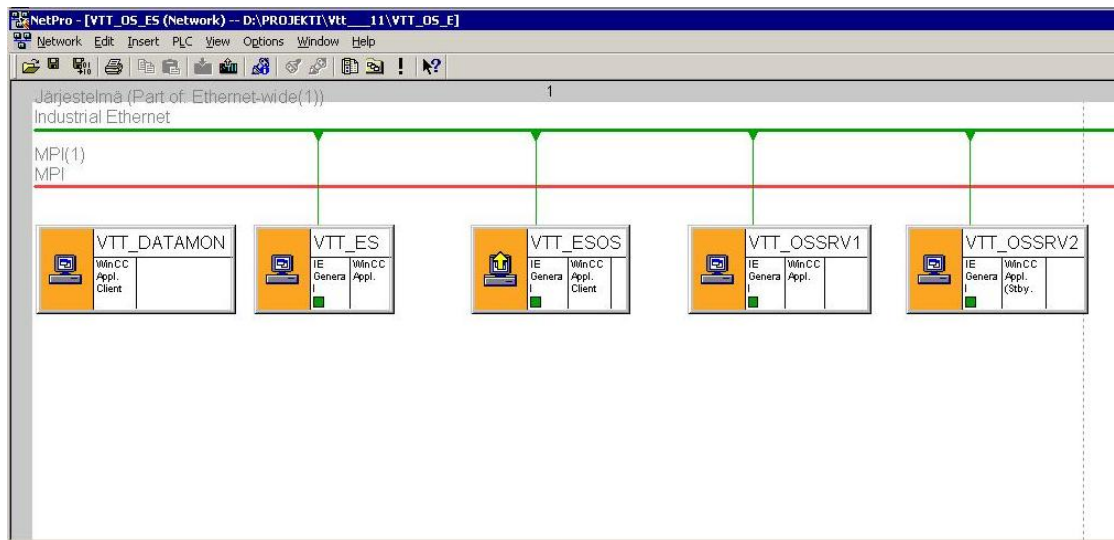
**TAULUKKO 3. Prosessiaseman komponentit**

Korttityyppi	Malli	Siemens tuotenumero	Kpl
Kehikko	S7-400 kehikko	6ES7400-1JA11-0AA0	1
Virtalähde	PS 407 10 A	6ES7407-0KA02-0AA0	1
Proessori	CPU 417-4H	6ES7417-4HT14-0AB0	1
Ethernet-verkkokortti	CP 443 -1	6GK7443-1EX11-0EX0	1
Profibus-verkkokortti	CP 443-5EXT	6GK7443-5DX04-0EX0	1
Profibus-optinen linkkimoduuli	ProfiBus OLM	6GK1503-3CB00	2

Prosessiaseman runkona on S7-400 -sarjan kehikko, johon kaikki komponentit liitetään. Virtalähteenä on paristovarmennettu 407-sarjan 10 A virtalähde. CPU on 417-4H -sarjan (High availability) CPU, joka mahdollistaa tarvittaessa myös kahden prosessiaseman redundanttisen järjestelmän. CPU-kortissa itsessään on Profibus DP- ja MPI-liitynnät. Ethernet-liityntää sekä toista Profibus DP -liityntää varten prosessiasemassa on CP 443-1- ja CP 443-5EXT -kommunikointikortit. Optisia linkkimoduuleja (OLM) käytetään Profibus-signaalin muuntamiseksi optiseen muotoon. Toinen OLM on sijoitettu järjestelmäkaappiin ja toinen IO-kaappiin.

### 3.2.3 PC-asemat

Polttokoelaboratorion PCS7-prosessinohjausjärjestelmä käsittää neljä fyysistä PC-asemaa. Kaksi niistä on OS-palvelinasemia, yksi on suunnittelu-/asiakasoperointiasema (ES/OS client) ja neljäs, Data Monitor -asema, joka on osa tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmää. Kuviossa 13 on esitetty projektin PC-asemat SIMATIC Managerin NetPro-konfigurointiohjelmassa.



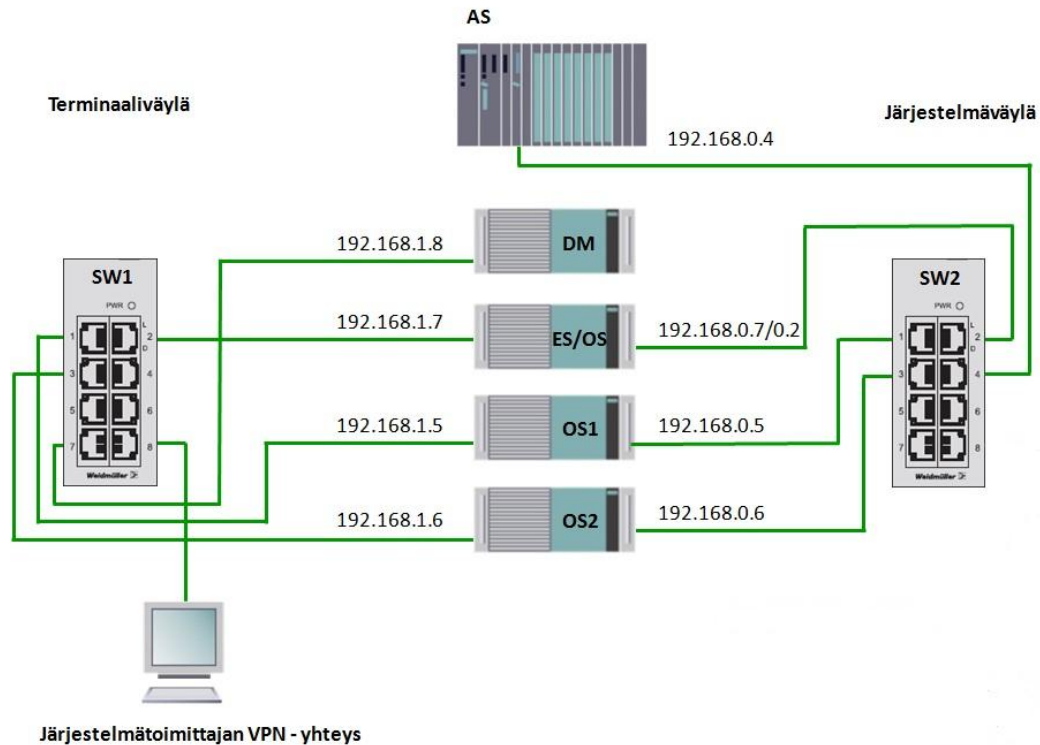
**KUVIO 13. PC asemien verkkokonfiguraatio**

Kuviosta nähdään, että kaikki asemat VTT\_DATAMON:ia lukuun ottamatta on kytketty PCS7:n Ethernet-järjestelmäväylään. Kaksi OS-palvelinasemaa (VTT\_OSSRV1 ja VTT\_OSSRV2) toimivat redundanttisesti. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että prosessin operoinnista ensisijaisesti vastaavan OS-palvelimen (tässä VTT\_OSSRV1) viikaantuessa toinen, stand by -tilassa oleva OS-palvelin (tässä VTT\_OSSRV2), ottaa operointivastuun itselleen. Kuviossa 13 OS-palvelinkoneiden vasemmalla puolella näkyvät asiakasoperointiasema (VTT\_ESOS) ja suunnitteluasema (VTT\_ES) ovat fyysisesti sama PC, mutta tässä NetPro-konfiguraatiossa ne näkyvät erillisinä PC-asemina. Neljännen PC-aseman, VTT\_DATAMON:n, toimintaa ja väyläkonfiguraatiota käsitellään luvussa 4.2.

### 3.2.4 Väyläratkaisut

Kuten edellisessä luvussa nähtiin prosessiaseman ja palvelinten sekä suunnitteluaseman keskinäinen järjestelmäväylätason kommunikointi on toteutettu Ethernet-väylällä kytkimen avulla. Lisäksi järjestelmän PC-asemat muodostavat toisen, järjestelmäväylästä erillisen Ethernet-verkon, terminaaliväylän. Se on tarkoitettu PCS7-järjestelmän ulkopuolista, PC-asemien välistä verkkoliikennettä varten. Kahden erillisen Ethernet-verkon toteuttamiseksi kaikissa koneissa on siis kaksi verkkokorttia ja

järjestelmässä kaksi kytkintä. Kuviossa 14 on esitetty järjestelmän Ethernet-verkkojen kytkennät ja IP-osoitteet.



**KUVIO 14. Ethernet-verkkojen kytkennät ja IP-osoitteet**

Kuten edellisestä kuviosta nähdään, järjestelmätoimittajalla on mahdollisuus suorittaa huolto- ja tukitoimia etänä VPN-yhteyden kautta. Tätä varten kaikkiin järjestelmän PC-asemiin on asennettu VNC-etähallintaohjelmistot. Lisäksi VNC:n avulla miltä tahansa järjestelmän koneelta voidaan hallita mitä tahansa toista järjestelmän konetta. Tämä on kätevää kun halutaan esimerkiksi valvomosta käsin tehdä muutoksia erillisessä tilassa sijaitsevan suunnitteluaseman sovellusohjelmaan. PC-asemien välisessä etähallinnassa hyödynnetään terminaaliväylää. Kenttälaitteista suurin osa on 2- tai 4-johdin kytkennällä I/O-moduuleihin liittyviä perinteisiä virta- tai jänniteviestiin perustuvia laitteita. Prosessiaseman ja ET200M-moduuleilla toteutetun hajautetun I/O:n väliseen kenttäväylätason kommunikointiin

käytetään Profibus DP -väylää, joka kulkee palvelin- ja I/O-kaappien välin redundanttisesti kytkettynä optisena signaalina.

Polttohalliin on rakennettu oma valvomotila, jonne OS-palvelinkoneiden näytöt ja hallintalaitteet on viety valokuitu-extendereiden avulla. Asiakas operointilisenssillä varustettu suunnitteluaseman näyttö ja hallintalaitteet on sijoitettu myös extender-tekniikkaa käyttäen erilliseen tilaansa. Data Monitor -koneen näyttö ja hallintalaitteet sijaitsevat palvelinkaapissa.

### 3.2.5 Turvallisuuteen Liittyvä Järjestelmä

Kuten pääluvun 3 alussa mainittiin, polttokoelaboratorion PCS7-järjestelmässä on varsinaisen prosessinohjausjärjestelmän (DCS) lisäksi myös TLJ, eli Turvallisuuteen Liittyvä Järjestelmä. TLJ:n tehtävä automaatiojärjestelmässä on tarkkailla prosessia ja vaarallisen tilanteen syntyessä ohjata se hallitusti turvalliseen tilaan. TLJ ei siis osallistu aktiivisesti varsinaiseen prosessinohjaukseen, vaan toimii vain tarvittaessa.

Polttokoelaboratorion Turvallisuuteen Liittyvä Järjestelmä perustuu laitteistopuolella Siemensin Fail Safe -sarjan I/O-kortteihin ja turvallisuusluokitukseltaan sopiviin kentälaitteisiin. Ohjelmistopuolella Turvallisuuteen Liittyvän Järjestelmän konfigurointi on toteutettu erillisen SIMATIC Safety Matrix -työkalun avulla.

SIMATIC Safety Matrix on PCS7-lisäosa, joka helpottaa prosessin TLJ:n ohjauksien luomista. Safety Matrix -editorissa määritellään syy-seuraus -suhteet TLJ:n tuloille ja lähdöille. Matriisin muodostavat vaakariveillä olevat TLJ:n tulot ja pystyriveillä olevat lähdöt. Syy- ja seurausrivien risteyskohdissa voidaan määritellä vuorovaikutuksen tyyppi. Turvaohjelma voitaisiin laatia myös suoran CFC-editorilla, mutta Safety Matrix -ohjelma tarjoaa tähän havainnollisemman käyttöliittymän. Käytännössä jokaiselle polttokoelaboratorion kattilalle on tehty oma TLJ-matriisinsa.

## 4 ALKUPERÄINEN TIEDONKERUU- JA ANALYSOINTIJÄRJESTELMÄ

Polttkoetoiminnan avulla tehtävä tutkimus perustuu koeajoissa syntyvän prosessidatan luotettavaan keräämiseen sekä tämän tallennetun datan jälkianalysointiin. Alkuperäisessä järjestelmässä tiedonkeruu oli toteutettu SIMATIC PCS7:n omilla arkistointityökaluilla. Järjestelmän arkistointitoiminnot on kuitenkin suunniteltu enemmän teollisuuden tarpeiden näkökulmasta ja käytännössä on huomattu, että arkistoinnin ja varsinkin jälkianalyysin asettamia vaatimuksia ei PCS7:n omilla toiminnoina pystytä tyydyttävästi täyttämään. Luvuissa 4.1–4.3 on esitelty tiedonkeruu- ja analyysitoimintojen kehityskaari alkuperäisestä järjestelmästä nykyiseen sekä niiden käytössä ilmenneet ongelmat.

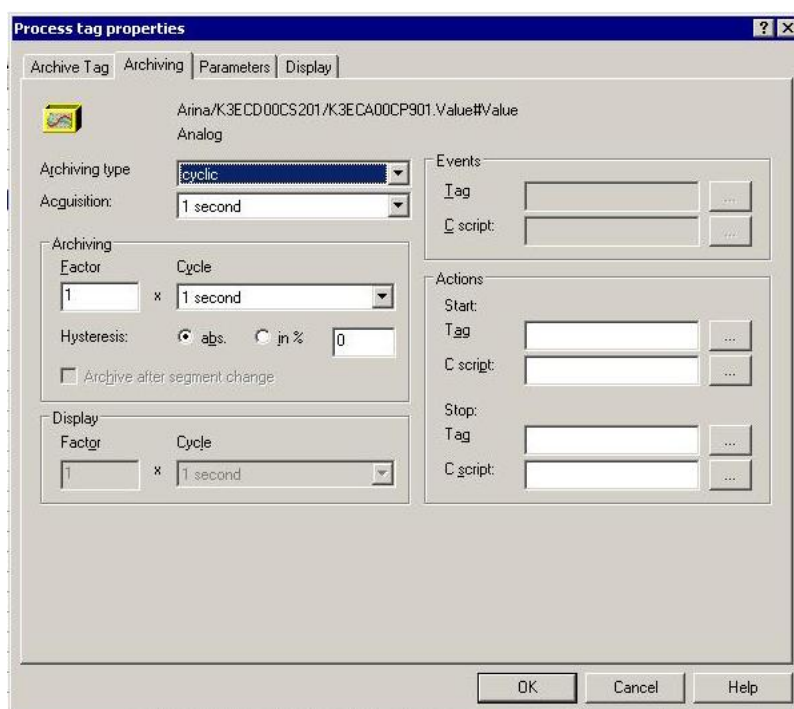
### 4.1 Prosessidatan arkistointi

#### 4.1.1 Prosessidata

Tutkimusta varten kerättävällä prosessidatalla tarkoitetaan automaatiojärjestelmässä liikkuvaa mittaus- ja ohjaustietoa. Kenttälaitteiden tarjoaman prosessidatan lisäksi järjestelmässä suoritetaan I/O-yksiköiltä saatujen arvojen perusteella laskentaa, jonka tulokset tallennetaan myös arkistoon. Tietotyypiltään prosessidata on pääasiassa digitaalikorttien bittitietoja sekä analogiamittausten REAL-tietotyyppiä. Arkistoitavien tagien määrä on I/O-data ja laskennat yhteensä laskettuna tällä hetkellä 1087 kpl. Suurin osa prosessidatasta tallennetaan sekunnin arkistointisyklillä, mutta mm. joidenkin lämpötilamittausten kohdalla katsotaan riittävän hitaampi, 10 sekunnin sykli.

#### 4.1.2 Arkistoinnin asetukset

Tiedonkeruun alkuperäinen toimintaperiaate oli käyttää arkistointiin luvussa 3.1.3 pääperiaatteiltaan esiteltyjä OS-palvelimien sisäisiä arkistointitoimintoja. Käytössä olevan operointiasemien redundanttisen toiminnan johdosta, OS-palvelimien arkistokannat ovat identtiset. Toisen palvelimen vikaantuessa ajantasainen arkistokanta palautetaan siihen automaattisesti prosessia operoivan palvelimen kannasta seuraavan käynnistyksen yhteydessä. WinCC Explorerin Tag Logging -asetuksista voidaan jokaiselle järjestelmän tagille erikseen määritellä arkistointiasetukset kuvion 15 mukaisesti.

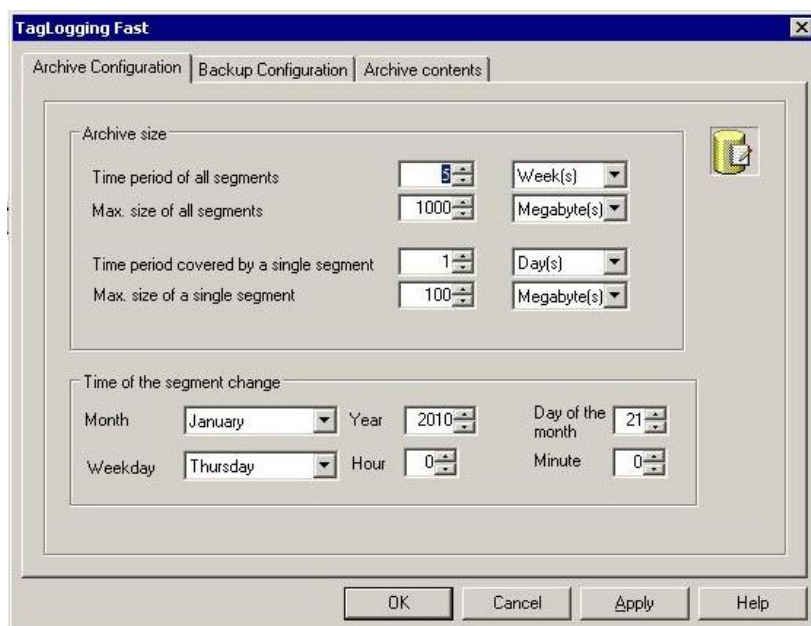


**KUVIO 15. Prosessitagin arkistointityypin ja -syklin asetukset**

Yllä olevassa kuviossa esitetyssä prosessitagin asetuskunassa näkyy nykyiselle järjestelmälle tyypillinen sekunnin arkistointisykli. Lyhyin mahdollinen arkistointisykli on 500 ms, mutta käytännössä kaikki järjestelmän tagit arkistoidaan tällä hetkellä yhden

sekunnin syklillä. Nopeasta, alle minuutin arkistointisyklistä johtuen arkistoinnissa käytetään kompressoitua Taglogging Fast -arkistoa.

Käytännössä arvioitiin, että prosessidata ehditään analysoida viiden viikon sisällä koeajoista, joten lyhytaikaisen TagLogging Fast -arkiston kooksi määritettiin kuvion 16 mukaisesti ajallisesti viisi viikkoa. Yksittäisten segmenttien kooksi määriteltiin yksi vuorokausi.



**KUVIO 16. TagLogging Fast -arkiston segmenttien määrittely**

Käytännössä siis joka vuorokausi luodaan uusi segmentti ja kun koko arkiston rajako-ko eli viisi viikkoa tulee täyteen, vanhin arkistosegmentti poistuu FIFO-periaatteen (First In First Out) mukaan järjestelmästä. Lisäksi segmenttien kokoa rajoittaa myös käytetty levytila, joka on laskettu segmenttien ajallisen keston, tallennussyklin ja tallennettavan prosessidatan perusteella. Levytilarajoitukset koko arkistolle on 1000 MB ja yksittäiselle segmentille 100 MB.



Jotta koeajoista kerättyä prosessidataa ei arkiston kierron tai muun syyn vuoksi menetettäisi, otettiin lisäksi käyttöön PCS7-järjestelmän OS-palvelinten Backup-toiminto, joka huolehtii automaattisesti palvelinten online-kantojen irrottamisesta ja kopioinnista Data Monitor -koneelle. Tilanteessa, jossa tallennus Data Monitor -koneelle ei jostain syystä onnistu, arkistokanta kopioidaan ES-koneelle.

Käytännössä Backup-toiminto luo uuden MDF-tyyppisen tiedoston kohdekoneelle aina kun yksittäinen segmentti tulee täyteen ja uusi aloitetaan. Tässä tapauksessa siis uusi tiedosto tehdään täyttyneestä segmentistä kerran vuorokaudessa. Backup-tiedostojen nimi muodostuu sen OS-palvelimen nimestä, jonka kannasta backup-tiedosto tehdään sekä aikavälistä, jonka tiedosto kattaa. Aikaväli merkitä käsittää sekä alku- että loppuajan, jotka sisältävät päivän, kuukauden, vuoden ja kellonajan.

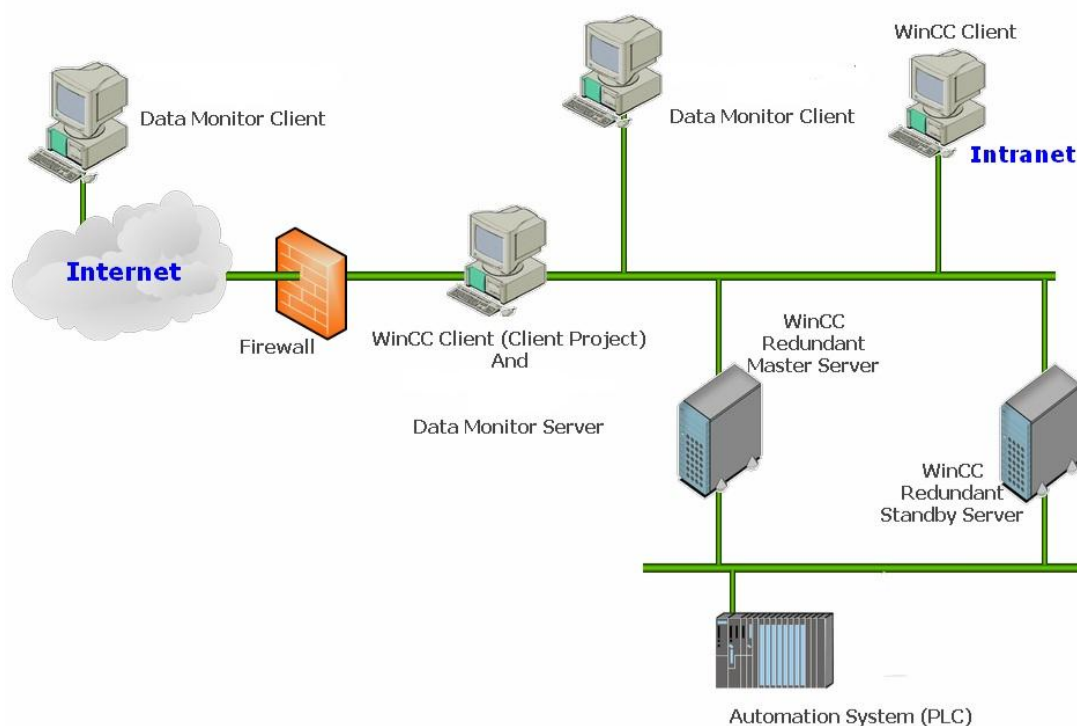
#### 4.1.3 Arkistoinnin suorituskyky

Prosessidatan arkistointi PCS7:n sisäisillä operointiasemien arkistointitoiminnoilla on tähän asti pystynyt täyttämään tiedon tallennuksen suorituskyvylle asetetut vaatimukset ilman ongelmia. Siemensin antama viitearvo arkistoinnin suorituskyvylle yhdellä palvelimella, tai kuten tässä tapauksessa redundantisella palvelin parilla, on n. 1000 tagia/s (SIMATIC PCS7 2010, 34). Suorituskykyarvioita sovellettaessa täytyy kuitenkin ottaa huomioon projektien ja niissä arkistoitavan prosessidatan erilaisuus. Esimerkiksi digitaalikorttien bittitiedon arkistointi kuormittaa järjestelmää vähemmän kuin analogiakorttien suuremmat tietotyypit.

Varsinaisten analyysityökalujen osalta tutkimustyössä oli tarkoitus jatkaa jo aiemmista järjestelmistä tutun Excelin käyttöä. Prosessidatan analysointia varten tallennettu data täytyi ensin hakea OS-arkistosta. Tätä tarkoitusta varten järjestelmässä on Data Monitor PC -asema.

## 4.2 WinCC Data Monitor

SIMATIC WinCC/Data Monitor on Siemensin Plant Intelligence -tuoteperheeseen kuuluva WinCC:n lisäosa, jonka avulla prosessinohjausjärjestelmän reaaliaikainen ja arkistoitu prosessidata sekä viestit voidaan Intranetin tai Internetin välityksellä tuoda saataville varsinaisen prosessinohjausjärjestelmän ulkopuolelle. Data Monitor toimii palvelin/asiakas -periaatteella, jossa samaan verkkoon operointiasemien kanssa liitetty Data Monitor -palvelin tarjoaa selainpohjaiselle (Internet Explorer) Data Monitor client -ohjelmalle pääsyn prosessidataan. Data Monitor -järjestelmän arkkitehtuuri on esitetty seuraavassa kuviossa. (WinCC V7.0 SP1 MDM - WinCC/DataMonitor - System Manual 2008, 113.)



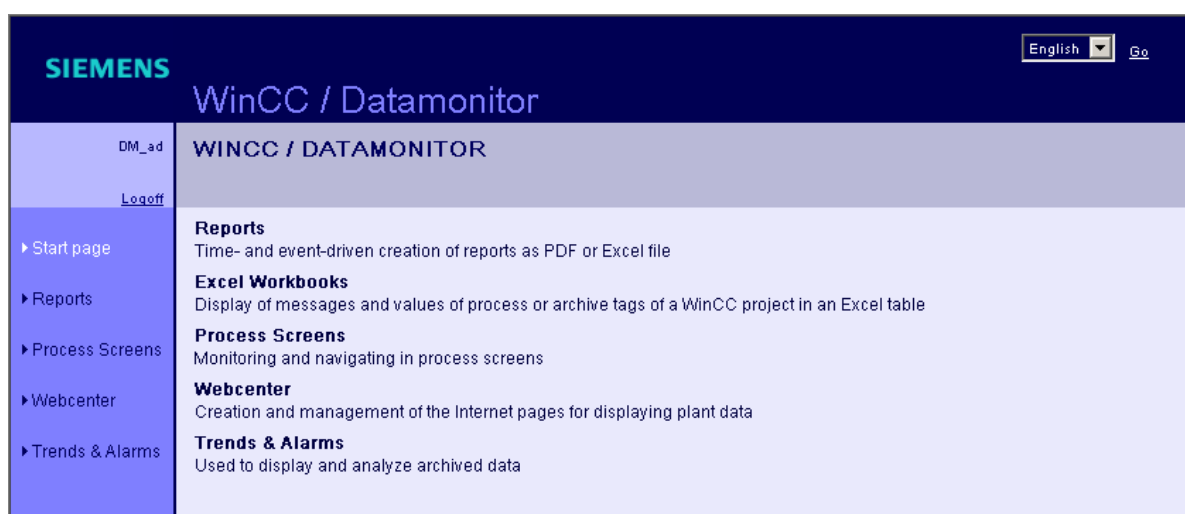
**KUVIO 17. WinCC Data Monitor -järjestelmän arkkitehtuuri**

Kuvion 17 mukaisesti Data Monitor -palvelimen asennuksen pohjana on WinCC Client -asennus. Data Monitor -palvelinkone on liitetty terminaaliyölyn kautta OS-

palvelimiin ja toimistoverkkoon. Näin toimistoverkon koneilla voidaan tehdä Data Monitor -client ohjelmiston (ks. kuvio 18) avulla hakuja suoraan OS-palvelinten online-kantaan ja arkistoihin. Data Monitor tarjoaa asiakaskäyttäjälle seuraavat työkalut:

- Prosessinäytöt prosessin monitorointiin valmiita WinCC:n prosessinäyttöjä hyödyntäen
- Trendi- ja hälytysnäyttö arkistoidun prosessidatan ja hälytysten analysointiin
- Excel-työkirjat arkistoidun prosessidatan siirtämiseksi Exceliin analyysin ja raporttien tekoa varten
- Automaattisten raporttien julkaisu aikaan tai tapahtumaan perustuen Excel-tai PDF-formaatissa
- WebCenter WinCC-datan esittämiseen keskitetysti käyttäjäkohtaisesti määritellyissä näkymissä
- Käyttäjähallinta käyttäjien ja käyttäjäryhmien oikeuksien (luku, kirjoitus) hallintaan (Mts. 113.)

Yllä mainituista tärkeimpiä työkaluja tutkimustoiminnan kannalta olivat automaattiset raportointitoiminnot ja Excel-työkirjat, joiden avulla prosessidata oli tarkoitus hakea tutkijoiden omilta työasemilta käsin prosessinohjausjärjestelmän ulkopuolelle, Excel-ympäristöön analysoitavaksi.



**KUVIO 18. Selainpohjaisen Data Monitor -asiakasohjelman käyttöliittymä (WinCC V7.0 SP1 MDM - WinCC/DataMonitor - System Manual 2008, 134)**

### 4.2.1 Excel-työkirjat

Data Monitorin Excel-työkirjat (Excel Workbooks) toiminto mahdollistaa sekä WinCC:n aktiivisten kantojen sisältämän että arkistoidun prosessidatan ja hälytysten tuomisen Exceliin analysointia varten. Prosessiarvojen lisäksi tuotu data sisältää myös aikaleiman sekä laatumerkinnän, joka kertoo kuinka luotettava prosessidatan arvo tallennushetkellä on ollut. (WinCC V7.0 SP1 MDM - WinCC/DataMonitor - System Manual 2008, 31, 77–92, 196.)

Käytännössä Excel-työkirjat toiminnon käyttö perustuu Excel-työkirja pohjiin, joihin määritellään haettavat tagit drag&drop -menetelmällä. Data Monitor -asennuksen yhteydessä Exceliin lisätään Add-in -valikko, josta löytyy "Excel Workbook Wizard" -toiminto kyseisiä tagimäärittelyjä varten. Tägeille määritellään haluttu aikaikkuna ja resoluutio, joilla prosessidataa halutaan hakea. Työkirjapohjassa on määritelty omat välilehtensä reaaliaikaiselle datalle, arkistoidulle datalle sekä hälytyksille. Tagimäärittelyn lisäksi "Excel workbook Wizard" -toiminto tarvitsee myös erilliset projektikohtaiset tiedot ennen kuin haku voidaan suorittaa. Projektikohtaiset tiedot voidaan määritellä erikseen projektista tehdyn XML-tiedoston avulla tai suoralla online-yhteydellä projektiin. Näiden määrittelyjen pohjalta sovellus hakee prosessinohjausjärjestelmän kannoista prosessidatan Excel-työkirjaan, minkä jälkeen varsinainen datan analysointi voidaan suorittaa Excelin omilla työkaluilla. (Mts. 31, 77–92, 196–197.)

### 4.2.2 Ongelmat

Kuten aiemmin mainittiin, prosessidatan arkistointi ja sen suorituskky ei aiheuttanut ongelmia alkuperäisessä järjestelmässä. Sen sijaan ongelmaksi muodostui datan palautus OS-palvelimien arkistoista.

Edellisessä kappaleessa esitetyn Data Monitorin Excel-työkirjat toiminnolla tehtyjen testihakujen perusteella esim. 14 tagin hakeminen yhden vuorokauden ajalta viiden

sekunnin resoluutiolla (241 920 arvoa) kesti ajallisesti yli kaksi tuntia. Käytännössä tutkimustyössä tarvittavat datamäärät voivat joissain tapauksissa olla vielä huomattavasti edellisen esimerkin määrää suurempia. Käytännössä esim. tuhannen arvon hakeminen vastaavalla resoluutiolla vuorokauden ajalta vastaisi yli 17 miljoonan arvon hakua.

Siemensin mukaan todennäköinen syy toiminnan hitauteen on OS-palvelimen sekä sen datan arkistoinnista ja palauttamisesta huolehtivan SQL-palvelimen suuri kuormitus. Puhtaasti teollisuusympäristössä, johon ohjelma on varsinaisesti suunniteltukin, suorituskky ei todennäköisesti ole ongelma, koska siellä prosessidataa haetaan huomattavasti pienempiä määriä ja yleensä vain satunnaisesti esim. raportteja varten tai kun prosessissa ilmenee ongelmia, joiden selvittäminen vaatii historiatietojen analysointia.

Järjestelmän käyttöönoton yhteydessä suoritettujen testien perusteella voitiin siis todeta, että prosessidatan palautus OS-palvelimien arkistoista Data Monitor -ohjelman avulla ei tule palvelemaan tutkimusympäristön järjestelmälle asettamia vaatimuksia riittävän hyvin. Lisäksi kun työkalu ei käytettävyytensä puolesta ollut täysin ideaali tutkimusympäristöön, täytyi prosessidatan palautukselle järjestelmän arkistoista kehittää vaihtoehtoinen menetelmä.

### 4.3 Visual Basic.Net -sovellus ja WinCC Connectivity Pack

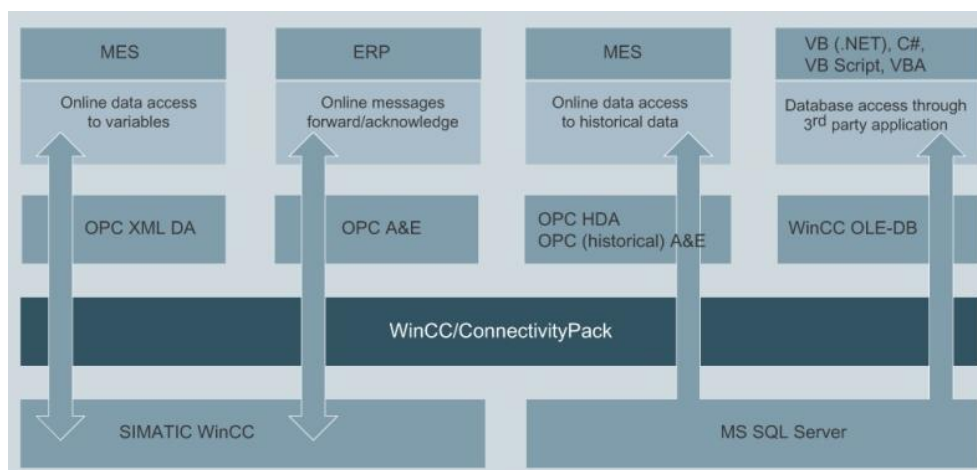
Edellisessä luvussa esitellyn WinCC Data Monitorin ongelmien vuoksi oli prosessidatan palautusta OS-palvelimien tietokannoista kehitettävä nopeammaksi ja käytettävyydeltään paremmaksi. Ratkaisuna tähän järjestelmätoimittajan puolelta päätettiin ohjelmoida VB.Net (Visual Basic.Net) -sovellus, jonka avulla prosessidata saatiin käännettyä arkistoiduista tietokannoista CSV-tiedostoksi ja vietyä sitä kautta Exceliin. Prosessidatan hakeminen Siemensin kompressoidusta tietokannasta esim. SQL-

kyselyllä ei suoraan onnistu, joten hakutyökalua varten oli hankittava myös WinCC Connectivity Pack, joka tarjoaa rajapinnan VB.Net-ohjelmalle.

#### 4.3.1 WinCC Connectivity Pack

WinCC Connectivity Pack on Data Monitorin tapaan erikseen hankittava WinCC:n lisäosa, joka tarjoaa uusia rajapintoja arkistoidun prosessidatan ja hälytysten käsitte-  
lyyn (ks. kuvio 19).

- WinCC OLE DB (Object Linking and Embedding Database) -rajapinta SQL-palvelimella (esim. WinCC Run Time) oleviin prosessidata- ja hälytysarkistoihin
- Archive Connector -työkalu arkistokantojen yhdistämiseen tai irrottamiseen SQL-palvelimessa
- Data Connector -työkalu prosessikuvien prosessidata- ja hälytysarkistojen käyttämiseen
- WinCC Connectivity Station -konfigurointi, kun kohdekoneella ei tarvita WinCC-visualisointia
- OPC HDA 1.2 -palvelin lisenssi
- OPC A&E 1.1 -palvelin lisenssi
- OPC XML DA 1.0 -palvelin lisenssi
- OLE DB -lisenssit (WinCC ja Microsoft) arkistokantojen käsittelyyn (WinCC V7.0 SP1 MDM - WinCC/Connectivity Pack - System Manual 2008, 23–24.)



**KUVIO 19. Connectivity Packin tarjoamat rajapinnat ja niiden tyypilliset käyttökohteet**

OPC-rajapinnoista ja -palvelimista kerrotaan lisää luvussa 5.5. VB.Net-sovelluksen kannalta tärkein Connectivity Packin tarjoama rajapinta on WinCC OLE DB, jota tässä kyseisessä tapauksessa sovelletaan kuvion 20 mukaisesti.



**KUVIO 20. Connectivity Pack ja OLE DB -rajapinta paikalliseen arkistokantaan (WinCC V7.0 SP1 MDM - WinCC/Connectivity Pack - System Manual 2008, 29)**

Connectivity Pack, VB.Net-sovellus ja arkistokannat sijaitsevat siis kuvion 20 mukaisesti samalla PC-asemalla. OLE DB -rajapintaa on mahdollista käyttää myös verkon yli, joten tiedot olisi voitu hakea suoraan myös OS-palvelinten kannoista. Tässä tilanteessa katsottiin kuitenkin turvallisemmaksi käyttää lähteenä mittaustietojen hakuun luvussa 4.1.2 esitellyn Backup-toiminnon luomia arkistokantoja, koska näin saatiin vähennettyä riskiä OS-palvelimilla sijaitsevien kantojen mahdollisesta korruptoitumi-

sesta SQL-palvelimien ylikuormituksen vuoksi. Uuden ratkaisun yhteydessä muutettiin myös OS-arkistointiasetuksia siten, että palvelinten online-arkisto kattaa ajallisesti enää kaksi viikkoa, entisen viiden viikon sijaan.

### 4.3.2 VB.Net-sovellus

Varsinaisen sovellustyökalun prosessidatan hakemiseen arkistokannoista WinCC Connectivity Packin tarjoaman OLE DB -rajapinnan läpi toteutettiin järjestelmäntoimittaja Microsoftin .NET-ohjelmistoperheeseen kuuluvan Visual Basic.Net -ohjelmointikielen avulla. VB.Net-sovelluksessa on graafinen käyttöliittymä (ks. kuvio 21), jonka kautta voidaan haulle antaa parametrit. Tuloksena saadaan CSV-tiedosto, josta löytyy hakuparametrien mukaisesti haettujen tagien arvot ja arvojen aikaleimat. Uusimmassa versiossa (v. 4.0) käyttöön on otettu lisäksi latauslista, jonka avulla useampia hakuja voidaan lisätä kerralla jonoon odottamaan.

The screenshot shows a Windows application window titled "CSV-tallennus". The interface includes several input fields and a table. The input fields are for "Projektin nimi:" (CFBC), "Kantatiedosto:" (VTT\_OSSRV2\_OSSRV1\_TLG\_F\_201012030655), "Serveri:" (VTT\_DATAMON\WINCC), "Hakutulostiedoston nimi:" (Markus\_c3), "Taseen nro.:" (2), "Resoluutio:" (1), "Pvm (pp.kk.vvvv):" (03.12.2010), and "Aikaväli (HH:mm) (UTC):" (06:55 - 12:00). There is a "Lisää latauslistaan" button. The table on the right has columns: "Id", "Projekt", "Server", "Tulostiedosto", "Tase", "Res", and "Aikaväli". It contains three rows of data.

#	Projekt	Server	Tulostiedosto	Tase	Res	Aikaväli
1	CFBC	VTT_DATAMON\WIN...	Markus_c1	2	1	03.12.2010 07:55 - 03.12.2010 12:00
2	CFBC	VTT_DATAMON\WIN...	Markus_c2	2	1	03.12.2010 08:55 - 03.12.2010 12:00
3	CFBC	VTT_DATAMON\WIN...	Markus_c3	2	1	03.12.2010 06:55 - 03.12.2010 12:00

At the bottom right, there is a "Tallenna" button. A warning message "HUOM! Vanhat tiedostot ylikirjoitetaan!" is visible on the right side of the form.

**KUVIO 21. VB.Net-sovellus prosessidatan hakuun arkistokannoista.**

Haut tehdään käytännössä paikallisesti Data Monitor -koneella, jolle OS-palvelimet tekevät Backup-määrittelyn mukaisesti kopioita tietokannoistaan. Aluksi Backup-toiminnon tuottamista MDF-tiedostoista täytyy manuaalisesti etsiä halutun aikavälin kattava tiedosto ja linkittää se Data Monitor -koneella pyörivään Microsoftin SQL-palvelimeen. Kun MDF-tiedosto on linkitetty palvelimeen, voidaan varsinainen haku



aloittaa. Hakusovelluksen käyttöliittymässä annetaan parametreina tietokannan nimi ja palvelin, jolla tietokanta sijaitsee. Lisäksi käyttöliittymässä annetaan sovellukselle lista haettavista tageista tekstitiedostona sekä haluttu aikaväli ja resoluutio, jolla arvot tageille haetaan. Esimerkiksi resoluutiolla neljä sovellus hakee joka neljännen arvon annetulta aikaväliltä. Hakusovelluksen suoritussykli yksittäiselle haulle on seuraava:

1. Haetaan käyttäjän muodostamassa tekstitiedostossa olevien taginimien perusteella tagien ID:t ohjelman sisäiseen tietorakenteeseen. Varsinainen mittausarvojen hakeminen tehdään käyttämällä taginimien sijasta tagiID:tä. Tämä on Siemensin suosittelema optimointikeino, joka nopeuttaa myöhempää mittausarvojen hakua.
2. Haun jälkeen ilmoitetaan löytyneiden ja löytymättömien tagien lukumäärät, tallennetaan listaukset löytyneistä ja löytymättömistä tageista tiedostoihin ja vaaditaan käyttäjän varmistus ennen jatkamista.
3. Luetaan yhden tagin aikakoodit tietorakenteeseen kohdan 2 tiedoston avulla. Näistä tiedoista syntyy CSV-tiedoston ensimmäinen sarake.
4. Luetaan tagien mittausarvot annetulla aikavälillä. Jokaiselle tagille muodostetaan oma yhteys ja oma käskyriivi (connection- ja commandstringit).
5. Tallennetaan kohdan 3 aikakoodi ja luetut datat tiedostoon.
6. Kirjoitetaan mahdolliset suorituksenaikaiset virheilmoitukset tiedostoon.
7. Ilmoitetaan käyttäjälle haun päättymisestä ja löytyneiden mittausarvojen lukumäärä sekä vaaditaan käyttäjän varmistus ennen paluuta alkunäyttöön (Järvilehto 2010.)

### 4.3.3 Ongelmat

Uudella hakutyökalulla saatiin aikaan parannusta prosessidatan hakuun arkistokannoista. Suoritetujen testien perusteella esimerkiksi noin puolen miljoonan mittausarvon hakeminen arkistokannasta kesti ajallisesti keskimäärin 11 minuuttia, mitä voidaan pitää hyvänä parannuksena verrattuna alkuperäisen järjestelmän suorituskykyyn. Siitäkin huolimatta hakuaika on melko pitkä, jos sitä verrataan PCS7-järjestelmää edeltäneen LabView-pohjaisen prosessinohjausjärjestelmän tietokantaratkaisun hakuaikoihin.

Merkittävänä ongelmana VB.Net-sovelluksessa on myös sen käytettävyys. Kuten edellisessä luvussa mainittiin, haluttu arkistokanta (MDF-tiedosto) täytyy ensin etsiä hakemistosta ja linkittää manuaalisesti SQL-palvelimeen, jonka jälkeen päästään vasta tekemään varsinaisia hakuja. Lisäksi usein haluttu ajanjakso osuu useamman eri arkistokannan alueelle, jolloin jokainen kanta täytyy erikseen linkittää SQL-palvelimeen ja jokaisesta kannalle täytyy suorittaa oma hakunsa. Tämän jälkeen saadut CSV-tiedostot täytyy vielä yhdistää manuaalisesti Excelissä, jotta mittausdata saadaan jatkuvana yhteen CSV-tiedostoon. Ongelmana on myös ollut prosessinohjausjärjestelmän oletuksena käyttämä UCT-aika, joka pitää ottaa huomioon hakuja tehtäessä. Lisäksi toimistoverkkoyhteyden puuttuessa hakujen tekeminen toimistoverkosta käsin ei ollut mahdollista, vaan ne piti käydä tekemässä paikallisesti Data Monitor -koneella.

Edellä esitettyjen ongelmien valossa kyseiseen tutkimusympäristöön hyvin soveltuvan tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmän toteuttamisen järjestelmän omilla työkaluilla ja lisäosilla katsottiin olevan ajallisesti pitkä kehitysprojekti, johon ei silloisessa tilanteessa ollut mahdollista ryhtyä. Näillä perustella päädyttiin selvittämään valmiiden kolmansien osapuolien tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmien tarjoamia mahdollisuuksia.

## 5 KARTOITUS TIEDONKERUU- JA ANALYSOINTIJÄRJESTELMISTÄ

Uuden tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmän hankinnassa lähdettiin liikkeelle kartoittamalla markkinoilta löytyvien järjestelmien ominaisuuksia ja hankintakustannuksia. Jotta tutkimustoiminta uuden prosessinohjausjärjestelmän kanssa saataisiin suhteellisen lyhyessä ajassa käyntiin, pyrittiin löytämään tutkimusympäristöön hyvin soveltuva valmis järjestelmä, joka ei edellyttäisi pitkää ja usein kallista tuotekehitystyötä. Uusien järjestelmien kartoituksen yhteydessä päätettiin lisäksi vielä myös vanhan järjestelmän kehitysmahdollisuudet selvittää. Tässä luvussa käsitellään kartoituksen vaiheita, tuloksia sekä uuden järjestelmän ja rajapinnan valintaa.

### 5.1 Tutkimusympäristön tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmälle asettamat vaatimukset

Tutkimustoiminta asettaa tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmän ominaisuuksille ja luotettavuudelle hieman erilaisia vaatimuksia kuin puhtaasti teollinen ympäristö. Tietoa kerätään nopealla keruusyklillä ja kaikki prosessidata täytyy saada luotettavasti talteen. Kuten luvussa 4 esitellyistä aiempien järjestelmien ongelmista nähtiin, myös suurten tietomäärien palauttamien kannasta vaatii järjestelmältä hyvää suorituskkyä. Uudelle järjestelmälle listattiin tarpeiden mukaan joitakin perus- ja lisäominaisuuksia, joiden perustella eri ratkaisuja pystyttiin paremmin vertailemaan.

### 5.1.1 Perusominaisuudet

Perusominaisuuksia, jotka uudesta järjestelmästä tuli löytyä olivat:

- Tallennuksen suorituskyky 1500 tagia/s tai ryhmiteltynä 700 tagia/s
- Historiatietojen nopea haku tietokannasta
- Datan tallennus ulkoiselle medialle
- Taltioidun datan palautus ulkoiselta medialta takaisin tietokantaan
- Excel-yhteensopivuus
- Keskiarvolaskenta
- Prosessidatan ryhmittely
- Laajennettavuus jälkeenpäin

Tutkimusympäristön jatkuvan kehittymisen ja laajentumisen vuoksi tiedonkeruun kapasiteetti mitoitettiin riittävän suureksi tulevaisuutta ajatellen. Näin ollen uuden järjestelmän prosessidatan tallennukselle asetettu vaatimus oli 1500 tagin arvon tallennus sekunnin syklillä. Näin mikäli kaikki mittapisteet kerätään myös niiltä kattiloilta, jotka eivät ole ajossa. Jos taas tiedonkeruu olisi mahdollista ryhmitellä vain niille kattiloille, jotka ovat ajossa, riittäisi 700 tagin arvon tallennus sekunnin syklillä. Prosessidatan palautus tietokannasta tuli olla sujuvaa sekä datan vieminen ulkoisille medioille tuli esim. varmuuskopioinnin vuoksi olla mahdollista. Tietokannasta viety data piti olla myös mahdollista palauttaa sinne takaisin myöhempää analyysia varten. Uuden järjestelmän tuli olla hyvin Excel-yhteensopiva, koska osa prosessidatan analysoinnista tulitaisiin edelleen tekemään Excelissä. Keskiarvolaskenta tuli olla järjestelmässä perustoimintona ja prosessin eri mittapisteet tuli olla mahdollista ryhmitellä loogisesti esim. kattilakohtaisesti. Tärkeä ominaisuus oli myös järjestelmän laajennettavuus jälkeenpäin. Uusia mittauksia tuli pystyä lisäämään tiedonkeruuseen suhteellisen vaivattomasti tutkimuslaitteiston kehittyessä. Nämä olivat siis ominaisuuksia, jotka uudesta järjestelmästä tulisi vähintään löytyä. Lisäksi määriteltiin joitakin lisäominaisuuksia, jotka toisivat lisää tehokkuutta tutkimustyöhön.

### 5.1.2 Lisäominaisuudet

Tutkimustoiminnan kannalta hyvinä ja lisäarvoa tarjoavina ominaisuuksina pidettiin seuraavia:

- Signaalikäsittelytoiminnot
- Automaattinen raporttien teko ja muokkaus
- Ulkoisen laskennan lisääminen
- Kaksisuuntaisuus
- Yleinen käytettävyys

Signaalinkäsittelytoiminnoilla tarkoitetaan tässä erilaisia suodattimia ja graafisia trendikäyrien muokkaustoimintoja, joilla esimerkiksi polttoaineen syötön vuoksi syntyvät häiriöpiikit saataisiin poistettua mittausdatasta aiheuttamasta virhettä lopullisiin laskennallisiin tuloksiin. Lisäksi automaattisten raporttien määrittely ja muokkaus tehostaisi asiakkaille toimitettavien dokumenttien valmistelua. Ulkoisen laskennan (esim. Matlab) avulla voitaisiin suorittaa vaativampaa korkeamman tason laskentaa, jonka tuloksia voitaisiin, listassa myös mainitun, kaksisuuntaisuuden avulla käyttää tarvittaessa myös prosessinohjauksessa. Viimeisenä kohtana mainittu hyvä käytettävyys olisi tietenkin positiivinen puoli ja tekisi siirtymisen vanhasta järjestelmästä uuteen helpommaksi.

## 5.2 Kartoituksen toteutus

### 5.2.1 Menetelmät

Uusien tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmien kartoitus aloitettiin referenssejä etsimällä ja ottamalla yhteyttä alan yrityksiin. Suurin osa kontakteista luotiin puhelimitse ja sähköpostin välityksellä. Lisäksi juuri sopivaan ajankohtaan osuneet tekniikka

messut tarjosivat hyvän keinon löytää alan toimijoita. Potentiaalisten järjestelmien ja referenssien etsinnässä Internet toimi myös hyvänä apuvälineenä. Tutkimusympäristön tiedonkeruulle ja analysoinnille asettamat vaatimukset saatiin tuotua hyvin esille kartoituksen alussa laaditun vaatimusmäärittelyn sekä nykyisen prosessinohjausjärjestelmän kokoonpanon avulla. Lisäksi potentiaalisimpien toimittajien kanssa järjestettiin tarjousasteelle edenneiden neuvotteluiden myötä tapaamisia, joissa tutkimustoiminnan tarpeet ja järjestelmien ominaisuudet saatiin määriteltyä yksityiskohtaisemmin.

### 5.2.2 Kartoituksen kohderyhmä

Kartoituksessa pyrittiin tavoittamaan alalla toimivat yritykset mahdollisimman laajasti, suurista automaatioalan toimijoista pieniin insinööritoimistoihin. Suurilla automaatioalan yrityksillä, kuten esimerkiksi Emerson ja Metso, on usein omat prosessinohjausjärjestelmänsä ja niihin läheisesti integroituvat tiedonkeruujärjestelmät, joiden integroiminen muihin järjestelmiin on toki mahdollista, mutta ei välttämättä kustannusmielessä järkevää. Suurilla yrityksillä on usein myös aiempaa kokemusta sekä yhteistyösopimuksia kolmansien osapuolien tiedonkeruujärjestelmistä, jotka integroituvat standardi rajapintojen avulla hyvin useisiin eri järjestelmiin ja tämän vuoksi ne otettiin mukaan kartoitukseen. Pienempien yritysten ja insinööritoimistojen vahvuudeksi katsottiin joustavuus ohjelmistoratkaisuissa, mikä mahdollistaa hyvän vastaamisen suoraan asiakkaan tarpeisiin. Täytyi kuitenkin pitää mielessä, että aikaa vieviin ja kustannuksia nostaviin tuotekehitysprojekteihin ei ollut mahdollista lähteä mukaan.

Maantieteellisesti katsottuna suurin osa kartoituksen kohderyhmän yrityksistä oli suomalaisia toimijoita. Lisäksi joitakin kontakteja lupaavien ohjelmistojen osalta otettiin myös ulkomaille mm. Saksaan ja Yhdysvaltoihin, mutta hankinnan suuruusluokan huomioon ottaen sijainnin katsottiin nostavan hankintakustannuksia suhteessa liikaa. Sijainniltaan vahvoilla olivat siis kotimaiset, paikalliset yritykset, jotka pystyvät tar-

joamaan käyttöönotto- ja ylläpitopalveluita sijainniltaan heikommin sijoittuvia yrityksiä kustannustehokkaammin.

### 5.3 Kartoituksen tulokset

Prosessinohjausjärjestelmiin integroituvia tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmiä on tarjolla useita erilaisia. Kuten edellisessä luvussa mainittiin, monella suurella prosessinohjausjärjestelmiä valmistavalla yrityksellä on tarjota omaan ohjausjärjestelmäänsä hyvin integroituva tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmä. Lisäksi saatavilla on useita erilaisia kolmansien osapuolien järjestelmiä, jotka integroituvat standardi rajapintojen kautta hyvin useiden eri valmistajien prosessinohjausjärjestelmiin. Kartoituksen aikana tutustuttiin jollain tasolla yhteensä noin 30 erilaiseen prosessinohjausjärjestelmän yhteyteen soveltuvaan tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmään, joista viidesessä edettiin tarjousasteelle saakka (ks. liite 2). Kaikkia järjestelmiä ei ole järkevää käydä tässä yhteydessä läpi, mutta kartoituksen tulokset ja muutama potentiaalisin järjestelmä esitellään yleisellä tasolla seuraavissa kappaleissa.

Perusperiaatteeltaan kaikki järjestelmät olivat hyvin samantyyppisiä; prosessidata kerätään keskitettyyn tietokantaan, josta sitä voidaan erilaisten työkalujen avulla hakea myöhemmin analyysia varten. Useimmissa järjestelmissä tiedonkeruu- ja analysointipuolen lisensointi on toteutettu erikseen. Lähestulkoon kaikissa kartoitukseen osallistuneissa järjestelmissä standardiratkaisuna prosessinohjausjärjestelmään liittymiseen käytettiin OPC-rajapintaa (ks. Luku 5.5).

Eroavaisuuksia järjestelmien välillä löytyi enemmän tietokantojen rakenteen sekä analyysipuolen toimintojen välillä. Kartoituksen perusteella järjestelmät voidaan jakaa karkeasti kahteen ryhmään: teollisuuteen suunnattuihin järjestelmiin sekä laboratoriotason graafisiin ohjelmointiympäristöihin ja niillä toteutettuihin sovelluksiin.

### 5.3.1 Teollisuuden tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmät

Suuri osa kartoitukseen osallistuneista järjestelmistä on suunniteltu lähinnä teollisuuden näkökulmasta. Näissä järjestelmissä varsinaiset tiedonkeruutoiminnot, niiden suorituskky ja integroituvuus logiikkapohjaisiin prosessinohjausjärjestelmiin ovat hyviä. Sen sijaan analyysitoimintojen todettiin olevan tutkimustoiminnan tarpeiden näkökulmasta varsin yksinkertaisia, enemmän teollisuuden tarpeita vastaavia.

Työkaluja löytyy yksinkertaiseen vianhakuun, tuotannon seuraamiseen sekä materiaalien hankinnan ja tuotannon optimointiin. Lisäksi joissakin järjestelmissä oli omat toimintonsa myös tuotantolaitteiston ylläpitoon ja huollon helpompaan organisointiin. Korostetussa asemassa näissä järjestelmissä olivat erilaiset raportointitoiminnot, joiden avulla teollisuusyritysten toiminnassaan suorittama raportointi esimerkiksi asiakkaille ja viranomaisille on helppo toteuttaa. Nämä järjestelmät tarjoavat sillan yrityksen eri hierarkkisten tasojen välille, aina tuotannosta ylimpään johtoon saakka. Jokaiselle tasolle löytyy usein omat työkalunsa, jotka helpottavat ja nopeuttavat päätösten tekoa. Kartoitukseen osallistuneita järjestelmiä enempää kategorisoimatta tämän tyyppisistä järjestelmistä puhuttaessa käytetään usein laajemmassa merkityksessä nimityksiä tuotannon- (MES, Manufacturing Execution System) ja toiminnanohjausjärjestelmät (ERP, Enterprise Resource Planning). Vanhempien järjestelmien yhteydessä voi törmätä myös nimitykseen MRP (Material/Manufacturing Resource Planning).

Tutkimustoiminnan näkökulmasta katsottuna useimmat näistä teollisuutta varten suunnitelluista järjestelmistä eivät tarjoa juurikaan lisäarvoa. Varsinainen tiedonkeruupuoli näillä järjestelmillä voidaan toteuttaa ongelmitta, mutta usein tutkimustoiminnan tarvitsemien analyysityökalujen puuttuminen tekee niistä huonommin tutkimusympäristöön sopivia. Toki useimmat näistä järjestelmistä ovat hyvin Excel-yhteensopivia, mutta toisaalta yhteensopivuuden saavuttaminen vaatii useimpien järjestelmien kohdalla tiedonkeruutoiminnoista erikseen lisensoitujen analyysityöka-



lujen hankintaa, mikä nostaa hankintakustannuksia tuomatta juurikaan lisäarvoa analyysipuolelle.

Vaikka useimmat teolliset tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmät eivät sellaisenaan analyysityökalujensa puolesta sovellu hyvin tutkimusympäristöön, poikkeuksiakin löytyy. Joissakin järjestelmissä uusien toimintojen ja analyysityökalujen kehittäminen on mahdollista ja nämä järjestelmä ovatkin räätälöitävissä tutkimuskäyttöön paremmin sopivaksi. Mutta kuten jo aiemmin mainittu kyseisessä projektissa uusi järjestelmä tarvittiin nopealla aikataululla, eikä kalliisiin kehitysprojekteihin ollut mahdollista lähteä.

Teollisuuteen suunnattujen järjestelmien joukosta ainoa esille noussut, valmiit tämän tyyppiseen tutkimustoimintaan soveltuvat analyysityökalut omaava järjestelmä oli Savcor Wedge® -prosessidiagnostiikkajärjestelmä, joka on käytössä mm. VTT:n Jyväskylän toimipisteen SUORA-paperinvalmistuksen tutkimusympäristössä. Toinen huomion arvoinen järjestelmä oli GE Intelligent Platformsin Proficy Historian, joka niin ikään oli SUORA-ympäristön käytössä ennen Wedgeen siirtymistä. Proficy Historian ei tarjoa juurikaan työkaluja analyysipuolelle, mutta luotettava tiedonkeruu ja suora Excel-yhteensopivuus nostivat sen yhdeksi vaihtoehdoksi uutta järjestelmää etsittäessä. Kolmantena tästä kategoriasta esiin nousi ProPAT-tietokantaratkaisu, jossa varsinainen prosessidatan haku Exceeliin on toteutettu web-pohjaisella ProGraph-sovelluksella. Hankintakustannuksiltaan edullinen ProGraph tarjoaa Excel export-toiminnon lisäksi muutamia yksinkertaisia laskentatoimintoja.

### 5.3.2 Laboratoriotason graafiset ohjelmointiympäristöt ja niihin pohjautuvat sovellukset

Teollisuuden tarpeisiin suunniteltujen tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmien lisäksi kartoituksessa nousi esiin laboratoriotason graafiset ohjelmointiympäristöt, joiden avulla voidaan toteuttaa erilaisia mittaus- ja testaussovelluksia.

Tunnetuimpia näistä lienee National Instrumentsin LabVIEW, jolla mm. polttokoelaboratorion edellinen PC-pohjainen prosessinohjausjärjestelmä oli toteutettu. Käytännössä uusi tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmä olisi mahdollista toteuttaa osittain vanhaa ohjelmakoodia hyödyntäen samalla aiemmin käytössä olleella käyttöliittymällä. Tietokantaratkaisuna järjestelmässä on National Instrumentsin DSC (Data-logging and Supervisory Control)-moduuli, josta prosessidata voitaisiin hakea Exceliin LabVIEW-työkalun export-toiminnon avulla. Tämä järjestelmä ei sellaisenaan tarjoa valmiita analyysityökaluja, mutta sellaisten kehittäminen LabVIEW:n avulla on suhteellisen pienellä vaivalla mahdollista jälkeenkäinkin. Lisäksi analyysipuolelle on mahdollista hankkia erikseen National Instrumentsin DIAdem-ohjelmisto, joka on täysin yhteensopiva DSC-tietokantaratkaisun kanssa ja tarjoaa valikoiman valmiita analyysityökaluja. Kustannuksiltaan DSC-pohjainen LabVIEW-järjestelmä olisi ollut samaa luokkaa GE Intelligencen iHistorian -järjestelmän kanssa. DIAdem-käyttäjälisenssit sen sijaan nostavat hankintakustannuksia merkittävästi.

Kartoituksessa tutustuttiin myös muutamaa muuhun LabView:n kaltaisen graafisen ohjelmointiympäristön tarjoavaan ohjelmistoon, kuten esimerkiksi DasyLab ja Agilent VEE. Pääpiirteissään tämän tyyppiset ohjelmistot on tarkoitettu enemmän dynaamiseen mittaamiseen, esimerkkinä värähtelyt. Tyypillisiä sovelluskohteita ovat vianhakutilanteet, kun halutaan lukea signaaleja kilohertsi-taajuudella. Prosessinohjausjärjestelmään liittyminen ja tiedonkeruu ovat mahdollisia, mutta ongelmiksi tämän tyyppisten sovellusten kanssa muodostuivat lähinnä suuri kerättävien tagien määrä ja käytettävyys tietokantojen kanssa.

### 5.3.3 Tietokantojen rakenteet

Kartoituksessa mukana olleiden järjestelmien tietokantaratkaisuissa oli myös eroja. Yksityiskohtaista tietoa tietokantaratkaisuista ei ollut tuotesuojasyistä johtuen saatavilla, mutta kartoituksen yhteydessä tutkittujen järjestelmien tietokantaratkaisut voidaan karkeasti jakaa SQL-pohjaisiin ja aikasarjapohjaisiin tietokantoihin.

Perinteiset pääosin SQL-kieleen perustuvat tietokantaratkaisut soveltuvat sellaiseen huonommin teollisten prosessinhallinta- ja tiedonkeruujärjestelmien pohjaksi. Syynä tähän on erityisesti SQL-tietokantojen pohjana olevan relaatiomallin puutteellinen soveltuvuus ajallisten ilmiöiden mallintamiseen. Näitä puutteita on pyritty korjaamaan lisäämällä relaatiomalliin pohjautuviin SQL-tietokantoihin aikasarjalaajennuksia. Tämän tyyppiset ratkaisut toimivat, mutta ne eivät poista kaikki relaatiomalliin liittyviä ongelmia. Aikatiedot esiintyvät tuplasti ja tietojen muokkaaminen jälkeenpäin on hankalaa. (Wolski, Arminen & Pesonen 1999, 1-3.)

Puhtaasti aikasarjapohjaiset tietokannat perustuvat tiedon mittaus- tai tallennusajakaan, joka toimii avaimena kaikessa tallennetun datan haussa. Jokainen aikasarjan tietue sisältää siis mittausarvon lisäksi tiedon mittaus- tai tallennusajasta ja toteutustavasta riippuen myös voimassaoloajasta. Aikasarjan tietoja yhdistää siis kronologinen järjestys. Tavallisesti tämän tyyppisessä prosessidatan käsittelyssä aikasarjapohjaisilla tietokannoilla saavutetaan parempi suorituskky SQL-pohjaisiin ratkaisuihin verrattuna. (Mts. 1–2.)

## 5.4 Uuden järjestelmän valinta

Kartoitukseen osallistuneista järjestelmistä potentiaalisimmiksi erottuivat jo edellä mainitut Savcor Wedge, Proficy Historian, ProPat/ProGraph ja DSC-pohjainen LabVIEW-sovellus. Näistä ainoastaan ensin mainittu Savcor Wedge sisältää täysin valmiit tutkimustoimintaan soveltuvat analysointitoiminnot. Kolmen viimeisen kohdalla kartoituksessa läpikäyty tarjouslaajuus käsitti lähinnä työkalut, joilla tutkimusdata saadaan siirrettyä Excelliin varsinaista analyysia varten. Toki niistä varsinkin LabVIEW-sovellus tarjoaa hyvät mahdollisuudet uusien ominaisuuksien kehittämiseksi ja erikseen lisensoitu DIAdem mahdollistaisi valmiin, laajan analyysityökalukokoelman hankinnan myöhemminkin.

ProPat/ProGraph -järjestelmää lukuun ottamatta kaikista kolmesta järjestelmästä löytyi jossakin muodossa aikaisempaa kokemusta VTT: Jyväskylän toimipisteestä. Edellinen prosessinohjausjärjestelmä oli toteutettu kokonaan LabVIEW:llä ja tiedonkeruu- ja analysointiratkaisuna käytettiin DSC-pohjaista tietokantaa, josta prosessidatua haettiin LabVIEW-sovelluksen avulla. Edellisen järjestelmän tuttua käyttöliittymää voisi hyödyntää uudessakin järjestelmässä. Proficy Historian tiedonkeruujärjestelmä puolestaan on ollut käytössä VTT:llä mm. Jyväskylän toimipisteellä paperitekniikan puolella, jossa se on sittemmin uuden Savcor Wedge -järjestelmän myötä jäänyt varajärjestelmäksi. Tämä paperipuolen lisenssi olisi käytännössä ollut mahdollista siirtää polttokoelaboratorion käyttöön, mikä olisi ollut kokonaisuudessaan edullisempi ratkaisu kuin uusien Proficy Historian lisenssien hankinta.

Kaikkien edellä mainittujen neljän järjestelmän kanssa neuvottelut etenivät tarjousasteelle ja vertailun jälkeen uudeksi järjestelmäksi päätettiin valita Savcor Wedge -prosessidiagnostiikkajärjestelmä. Tärkeimpinä perusteina uuden järjestelmän valinnassa pidettiin aiempia VTT:n sisältä löytyviä referenssejä ja niistä saatuja hyviä käyttökokemuksia sekä kokonaisuudessaan valmista pakettia, joka tarjoaa sopivat työkalut tutkimusympäristöä varten. Korkeampien hankintakustannusten arvioitiin kompensoituvan tutkimustoiminnan tehostuessa uusien analyysipuolen työkalujen ansiosta. Lisäksi valmiina tuotteena Savcor Wedge mahdollistaa nopean käyttöönoton ilman usein pitkää ja kustannuksia nostavaa tuotekehitysprojektia. Yhtenä hankintaa puoltavana seikkana mainittakoon vielä Wedgen puolen vuoden kokeilumahdollisuus, jonka jälkeen sitovampi hankintapäätös voidaan tehdä tai jättää tekemättä.

Kolmannen osapuolen tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmän hankinta ja asennusarkkitehtuuri edellyttivät myös uuden palvelinkoneen lisäämistä järjestelmään. Standardiratkaisuna eri valmistajien automaatio- ja oheisjärjestelmien välisessä kommunikoinnissa käytetään OPC-rajapintaa. Seuraavassa luvussa esitellään OPC-standardi lyhyesti ja vertaillaan OPC-rajapinnan käytännön toteutusvaihtoehtoja.

## 5.5 OPC automaatiojärjestelmien rajapintana

OPC (OLE for Process Control) on alun perin vuonna 1996 teollisuusautomaation järjestelmätoimittajien yhteistyössä määrittelemä avoin tiedonsiirtostandardi, joka mahdollistaa eri järjestelmien paremman yhteensopivuuden ilman uusien ajureiden kehittämistä erikseen jokaiselle järjestelmälle. Standardin ensimmäisten määrittelyjen perustana ovat Microsoftin kehittämät OLE (Object Linking and Embedding), COM- (Component Object Model) ja DCOM- teknologiat (Distributed Component Object Model). Standardissa määritellään joukko menetelmiä, liittymiä ja olioita, joita käytetään automaatiosovelluksissa. (SIMATIC NET, Industrial Communication with PG/PC Volume 1 - Basics System Manual 2010, 83–86.)

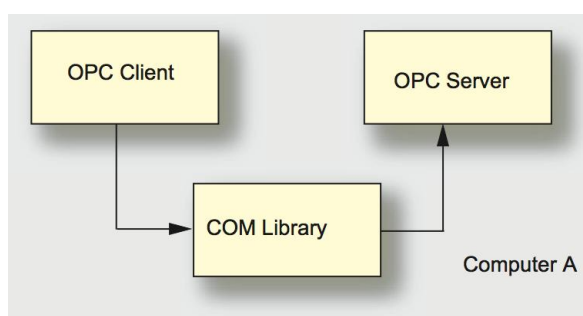
OPC-standardin kehityksestä ja ylläpidosta vastaamaan on standardin ensimmäisen määrittelyn jälkeen perustettu OPC-säätiö (OPC-Foundation), joka antaa OPC:lle nykyään merkityksen Open Connectivity via open standards. OPC-säätiö on kehittänyt myös OPC-sertifiointiohjelman, jonka tarkoituksena on testata ja myöntää tuotteille sertifikaatteja todistuksena OPC-standardien tuotteille asettamien vaatimusten täytymisestä. OPC-sertifikaatin saamiseksi tarkoitettuja testejä on kahdenlaisia: Järjestelmätoimittajien itse OPC-säätiön tarjoamilla testityökaluilla suorittamia testejä sekä kolmannen puolueettoman osapuolen tekemiä testejä, joissa arvioidaan tarkemmin mm. tuotteen käytettävyyttä ja suorituskykyä. (OPC Foundation, About OPC 2010.)

### 5.5.1 Palvelin-asiakas -arkkitehtuuri ja palvelintyyppit

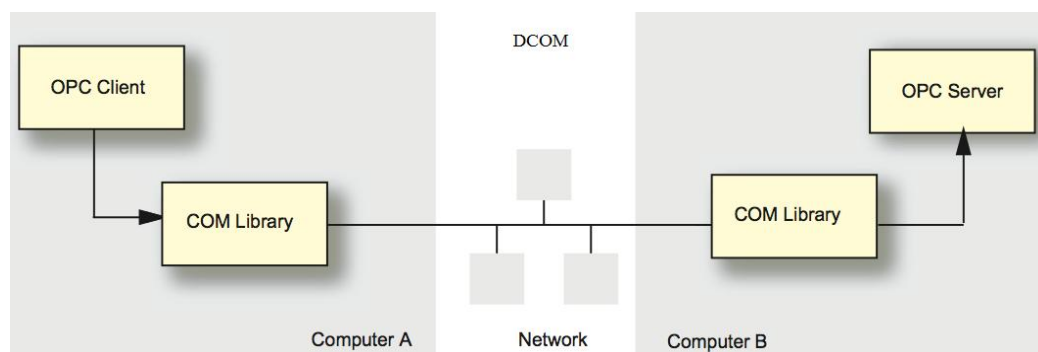
OPC-palvelin on yleensä automaatiojärjestelmän toimittajan tarjoama ohjelmisto, joka pystyy lukemaan ja kirjoittamaan esimerkiksi sen ohjelmoitavan logiikan tietoliikennettä ja rekistereitä, jolle ohjelma on tehty. Palvelimen tarjoamia resursseja käytetään OPC-asiakas ohjelman (OPC-client) avulla. Käytännössä esimerkiksi prosessinohjausjärjestelmän eri toimittajien valvomosovellukset ja prosessiasemat pystyvät

kommunikoimaan keskenään OPC-palvelin -asiakas arkkitehtuuriin perustuen ilman, että tarvitaan jokaiselle erikseen tehtyä rajapintaa.

Riippuen palvelin- ja asiakasohjelmistojen sijainnista OPC-palvelin voi olla ns. paikallinen palvelin (local) tai etäpalvelin (remote). Tästä toteutuksesta riippuen kommunikoinnissa käytetään joko COM- tai DCOM-kirjastoja kuvioiden 22. ja 23. mukaisesti. (SIMATIC NET, Industrial Communication with PG/PC Volume 1 - Basics System Manual 2010, 87–89.)



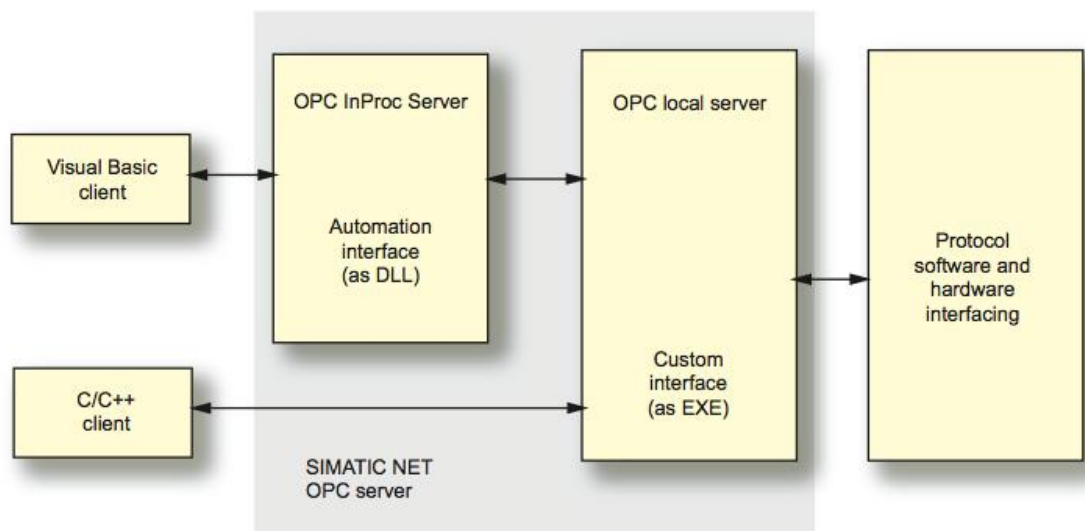
**KUVIO 22. OPC-palvelin -asiakas paikallisella (Local) koneella (SIMATIC NET, Industrial Communication with PG/PC Volume 1 - Basics System Manual 2010, 88)**



**KUVIO 23. OPC-palvelin -asiakas hajautetussa järjestelmässä (Remote) (SIMATIC NET, Industrial Communication with PG/PC Volume 1 - Basics System Manual 2010, 89)**

Edellä esitetyillä tavoilla toteutettuja OPC-palvelimia kutsutaan ns. out-process - palvelimiksi. Näiden lisäksi OPC-palvelin voidaan toteuttaa myös ns. in-process - palvelimena. Tällöin OPC-asiakasohjelma käyttää palvelinohjelmiston DLL-kirjastoa

(Dynamic Link Library) (ks. kuvio 24) ja palvelin toimii käytännössä OPC-asiakasohjelman prosessitilassa. Tällaisessa toteutuksessa mm. kahden erillisen prosessin välisestä tiedonsiirrosta aiheutuvat viiveet poistuvat ja suorituskyky paranee. (Mts. 87, 131.)



**KUVIO 24. In-process ja out-process OPC-palvelimet (SIMATIC NET, Industrial Communication with PG/PC Volume 1 - Basics System Manual 2010, 87)**

### 5.5.2 OPC-standardit

OPC-säätiön valmistelemista määrittelyistä automaatioalaa koskevat:

- Data Access
- Alarms & Events
- Historical Data Access
- Data Access XML
- Data Exchange
- Batch
- Unified Architecture

Näistä tunnetuimpia ovat kolme ensimmäistä sekä uusin Unified Architecture, jonka tarkoitus on ajan kuluessa korvata aiemmat irralliset määrittelyt. (SIMATIC NET, Industrial Communication with PG/PC Volume 1 - Basics System Manual 2010, 86; OPC Foundation Unified Architecture 2010.)

## OPC Data Access

OPC DA (OPC Data Access) on reaaliaikaisen datan jatkuvaan siirtoon määritetty standardi. Siinä määritellään rajapinnat, joiden avulla OPC-palvelimella olevaa reaaliaikaisesti muuttuvaa tietoa päästään selaamaan, lukemaan ja kirjoittamaan. OPC DA -rajapinta mahdollistaa siis myös prosessinohjauksen OPC-tageille kirjoituksen avulla. Käytännössä OPC DA -rajapintaa voidaan käyttää esimerkiksi liitettäessä prosessinohjausjärjestelmään kolmannen osapuolen valvomo- tai tiedonkeruusovelluksia. (OPC Foundation Data Access 2010.)

OPC DA -standardista on olemassa useita eri versioita. Alkuperäinen vuonna 1996 tehty määrittely oli OPC versio 1.0. Lisämaare Data Access otettiin käyttöön vasta seuraavana vuonna määritellyssä OPC DA 1.0a -versiossa. Sen jälkeen määrittelystä on julkaistu useita pieniä muutoksia ja tarkennuksia sisältäneitä versioita (DA 2.0-2.05a). Uusin OPC Data Access -määrittely on vuonna 2003 julkaistu OPC DA 3.0. (Mt.)

OPC DA:sta on määritelty myös OPC XML DA -spesifikaatio. Käytännössä se on tarkoitettu samaan reaaliaikaisen datan siirtoon kuin DA-standardikin, mutta XML-pohjaisuus poistaa siitä aiemmin käytetyistä COM- ja DCOM-teknologioista aiheutuneen Windows-alustariippuvuuden. (Mt.)

## OPC Alarms&Events

OPC A&E -standardi (Alarms & Events) on tarkoitettu hälytys- ja tapahtumatietojen siirtämiseen. Edellisessä kappaleessa esitetystä Data Access -rajapinnasta poiketen



hälytys- ja tapahtumatietojen siirtäminen ei ole jatkuvaa, vaan se tehdään pyydettyessä. Siirrettävä data voi olla prosessihälytyksiä, valvomon suorittamia ohjaustapahtumia, muita informatiivisia viestejä sekä seuranta-/tarkastusviestejä. Viimeisin OPC Alarms & Events -versio on OPC A&E 1.10. (OPC Foundation Alarms & Events 2010.)

### OPC Historical Data Access

OPC HDA (Historical Data Access) on standardi, joka tarjoaa rajapinnan aikasarjapohjaisen historiatiedon välittämiseen. Käytännössä sen avulla on mahdollista hakea esimerkiksi prosessinohjausjärjestelmän sisäiseen tietokantaan arkistoitua aikasarjapohjaista prosessidataa kannasta jälkeenpäin. OPC HDA 1.20 on viimeisin OPC Historical Data Access -määrittelystä julkaistu versio. (OPC Foundation Historical Data Access 2010.)

### OPC Unified Architecture

OPC UA (Unified Architecture) -standardi on uusin OPC-määrittely, joka ei varsinaisesti ole uusi standardi, vaan kokonaisvaltaisempi uusi arkkitehtuuri, jolla on tulevaisuudessa tarkoitus korvata vanhemmat irralliset määrittelyt. Se siis tarjoaa vanhojen rajapintojen, kuten DA, A&E, HDA, XML DA, Security ja Complex toiminnallisuudet yhden yhtenäisen määrittelyn sisällä. (OPC Foundation Unified Architecture 2010.)

Tärkeimpiä syitä uuden OPC-määrittelyn tekemiselle ovat olleet Internet-tekniikoiden ja verkottumisen kehittyminen, mikä osaltaan on aiheuttanut uusia vaatimuksia luotettavuudelle ja tietoturvalle. Automaation yleinen kehitys kohti monitoimittajaympäristöjä sekä eri järjestelmien välinen integraatio niin kenttä- kuin hallintotasollakin ovat asettaneet uusia vaatimuksia tiedonsiirtotekniikoille. Myös aiempien OPC-määrittelyiden perustana olleiden COM- ja DCOM-tekniikoiden osittainen vanhentuminen on teknisellä puolella luonut motivaatiota vanhojen määrittelyjen uudistamiselle. (Mt.)

Uusi OPC UA -rajapinta on käytännössä toteutettavissa Javalla, C-ohjelmointikielellä tai .NET-ympäristössä. Tämä poistaa aiempien versioiden kaltaisen riippuvuuden Windows-pohjaisesta alustasta. Alustariippumattomuuden lisäksi UA-määrittelyssä vanhojen OPC-rajapintojen toiminnallisuudet yhdistyvät uudempiin XML- ja Web Service -teknologioihin, mikä tarjoaa paremman tuen teollisuuden ylemmän tason tuotannon- ja toiminnanohjausjärjestelmille. (Mt.)

## 5.6 OPC-palvelinohjelmiston valinta

Uuden tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmän integroimiseksi prosessinohjausjärjestelmään OPC-rajapinnan avulla täytyy pohjana olla uuden järjestelmän tukema OPC-palvelinohjelmisto. Savcor Wedge -prosessidiagnostiikkajärjestelmän järjestelmäliityntä ja reaaliaikaisen datan tarjoaminen prosessinohjausjärjestelmästä toteutetaan OPC DA -standardin mukaisella rajapinnalla. OPC DA versioista Savcor Wedge tukee virallisesti versioita 1.0 ja 2.05a.

Kuten jo aiemmin mainittiin, OPC-palvelinohjelmistoja on saatavilla usein suoraan automaatiojärjestelmien toimittajilta sekä kolmannen osapuolen valmistajilta. Varsinaisen tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmien kartoituksen yhteydessä selvitettiin myös mitä erilaisia tarkoitukseen sopivia OPC-palvelimia on saatavilla ja mitkä ovat niiden hankintakustannukset. Tärkeimpänä vaatimuksena uudelle OPC-palvelimelle oli riittävä suorituskky. Tiedonkeruu pyrittiin mitoittamaan 1500 tag/s ja oman haasteensa OPC-palvelimen valinnassa aiheuttikin suorituskkyyn hankala arvioitu vuus etukäteen. Käytännössä suorituskkyarvot ovat hyvin projektikohtaisia ja määräytyvät mm. käytettyjen datatyyppeiden, logiikan skannausajan ja käytetyn väyläkonfiguraation mukaan.

OPC-palvelinten osalta kartoituksessa tarkasteltiin seuraavia OPC-palvelimia:

- WinCC OPC DA
- Siemens OpenPCS7
- Applicom® OPC DA -kommunikointikortti
- GE Industrial Gateway Server OPC DA
- SIMATIC NET Softnet OPC DA

#### WinCC OPC DA

Savcorin mukaan suurin osa aiemmista Wedge-järjestelmän liitynnöistä Siemensin PCS7-järjestelmään on toteutettu operointiasemien perustana toimivan WinCC:n perusasennukseen sisältyvän OPC DA -palvelimen päälle. Siemensin OPC-palvelinohjelmistoissa OPC DA versiot 1.0, 2.05a ja 3.0 ovat yleisesti tuettuja.

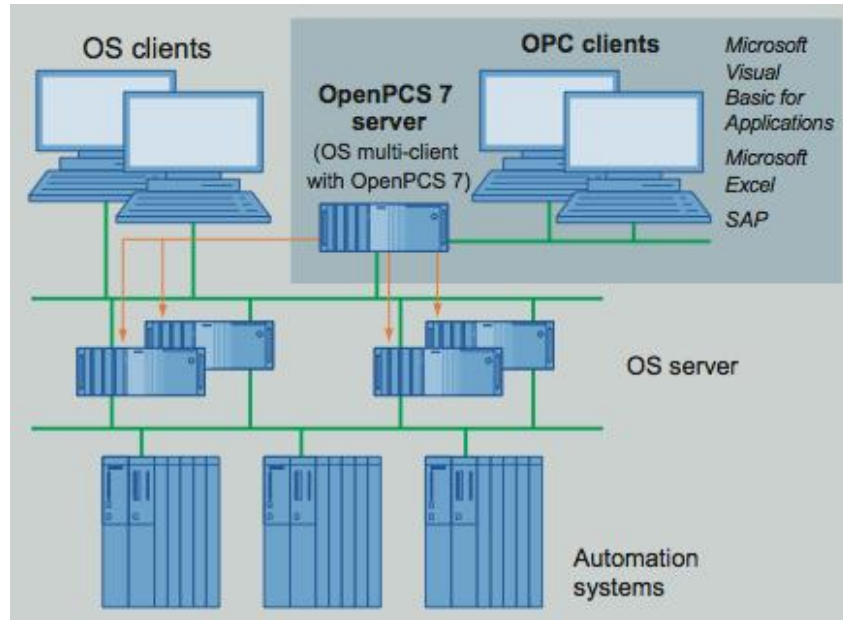
WinCC:n oman sisäisen OPC-palvelimen käyttäminen tiedonkeruussa olisi siis voitu toteuttaa jo olemassa olevilla ohjelmistoilla ja lisensseillä, eikä siten uusia hankintoja rajapinnan osalta olisi tarvinnut tehdä. Ongelmaksi WinCC:n sisäisen OPC-palvelimen käyttämisessä muodostui kuitenkin sen suorituskyyky.

Kartoituksen yhteydessä tutkittujen referenssien ja Siemensin edustajien mukaan WinCC:n OPC DA -palvelimella pystytään tyypillisesti tarjoamaan reaaliaikaisen prosessidatan siirrossa n. 200 tag/s suorituskyyky. Kuten jo aiemmin mainittua, käytännön suorituskyyky määräytyy projektikohtaisesti eikä tarkkaa arvoa pystytä etukäteen määrittämään, mutta tässä tapauksessa voitiin kuitenkin viitearvojen perusteella todeta, että suorituskyyky ei tule olemaan tarkoitukseen riittävä.

#### Siemens OpenPCS7

Toisena kolmesta Siemensin omasta kartoituksessa mukana olleesta OPC-palvelintuotteesta tarkasteltiin OpenPCS7-ohjelmistoa. OpenPCS7 tarjoaa OPC DA rajapinnan lisäksi HDA, A&E, OLE DB -rajapinnat, sekä Siemensin oman "H" A&E (His-

torical Alarms & Events) -jatkeen A&E-standardille. OpenPCS7-palvelimen asennusarkkitehtuuri on esitelty seuraavassa kuviossa.



**KUVIO 25. OpenPCS7-arkkitehtuuri**

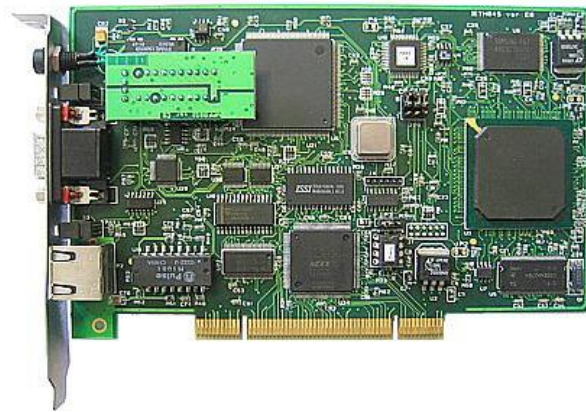
OpenPCS7 liittyy järjestelmään OS-palvelinten kautta. Käytännössä se on siis OS-client ilman graafista operointikäyttöliittymää. Reaaliaikaisessa prosessidatan siirrosta (OPC DA) OpenPCS7-asemalla voitaisiin Siemensin epävirallisten viitearvojen mukaan päästä nykyisen prosessinohjausjärjestelmän yhdellä palvelinparilla n. 1000tag/s suorituskyykyyn. Tässäkin tapauksessa arvo on vain viitteellinen projekti-kohtaisista eroista johtuen.

Muita kartoituksen erillisiä OPC-palvelinratkaisuja paremmin PCS7-projektiin integroituvan OpenPCS7:n ei kuitenkaan katsottu korkeisiin hankintakustannuksiinsa nähden tarjoavan riittävästi lisäarvoa, sillä käytännössä kaikki sen tarjoamat rajapinnat, suorituskyykyisempää OPC DA:ta lukuun ottamatta, löytyvät jo aiemmin hankitusta WinCC Connectivity Pack -ohjelmistosta. Lisäksi kun prosessinohjausjärjestelmän toimittajan mukaan oli olemassa riski OS-palvelinten kuormituksen liialliselle kasva-

miselle, katsottiin paremmaksi lähteä toteuttamaan OPC DA -rajapintaa arkkitehtuuriltaan erilaisella ratkaisulla.

#### Applicom® OPC DA -kommunikointikortti

Kolmannen osapuolen OPC-palvelinratkaisusta kartoituksessa oli mukana Applicomin OPC DA -kommunikointikortti (ks. kuvio 26). Puhtaasti ohjelmistopohjaisista OPC-tuotteista poiketen tavallisen verkkokortin tapaan PCI-E -väylään liitettävä Applicomin kommunikointikortti tarjoaa suoran verkkoliittymän Ethernet- ja Profibus-väyliin. Kortissa on sisäänrakennettu prosessori, joka mahdollistaa teoriassa OPC-palvelimen paremman suorituskyvyn.



**KUVIO 26. Applicom® OPC -kommunikointikortti**

Referenssien valossa erillistä kommunikointikorttia käyttävissä tiedonkeruuratkaisuissa on päästy suorituskyvyssä muutamin tuhansiin mittausarvoihin. Näissä tapauksissa keräyssykli ei kuitenkaan ole ollut kaikkien tagien osalta sekunnin luokkaa, vaan pidempi.

Aiempien kokemusten mukaan erillisen kortin tarjoamasta suorituskyvystä on merkittävässä määrin hyötyä tapauksissa, jossa tiedonkeruupalvelin PC:n kuormitus on korkea eikä ohjelmistopohjaiselle OPC-palvelimelle riitä tarpeeksi palvelin PC:n omia

resursseja. Kommunikointikortti liitetään suoraan automaatiojärjestelmän prosessiasemaan, joka usein käytännössä muodostuu OPC-palvelimen suorituskyvyn pullonkaulaksi.

Tulevan Wedge-tiedonkeruupalvelimen kuormituksen arvioitiin olevan suhteessa vähäistä, joten sen ja korkean hankintahinnan vuoksi OPC-palvelimien osalta päädyttiin vertailemaan puhtaasti ohjelmistopohjaisia OPC DA -palvelimia.

#### GE Industrial Gateway Server OPC DA

WinCC:n oman OPC-palvelimen lisäksi referenssejä muista ohjelmistopohjaisista OPC DA -palvelimista Wedge-prosessidiagnostiikkajärjestelmän yhteydessä löytyi Savcorin mukaan vain muutamia. Yksi näistä oli Saksassa General Electricin Industrial Gateway Server -tuoteperheeseen kuuluvalla puhtaasti ohjelmistopohjaisella OPC DA -palvelimella toteutettu rajapinta. Tässä järjestelmässä kahdelta Siemensin S7-400 -prosessiasemalta dataa kerättäessä oli suorituskyvyssä ylletty jopa 4000 mittausarvon keräämiseen sekunnin syklillä. Täytyy kuitenkin muistaa, että suoraan vertailukelpoisena ei tätäkään referenssiä voi pitää mahdollisista projektiokohtaisista eroista johtuen.

Kuten Applicomin-kommunikointikortinkin, myös suoraan prosessiasemaan liittyvän ohjelmistopohjaisen OPC DA -palvelimen suorituskyvyn pullonkaula tulisi todennäköisesti muodostumaan logiikan kykyyn tarjota prosessidataa OPC-palvelimelle. Ohjelmistopohjaisten OPC DA -palvelinten samankaltaisuudesta ja Siemensin tarjoaman vastaavan tuotteen edullisemmista hankintakustannuksista johtuen päädyttiin uuden tiedonkeruujärjestelmän rajapinnaksi hankkimaan Siemensin SIMATIC NET Softnet OPC DA -palvelin

## SIMATIC NET Softnet OPC DA

Uuden Savcor Wedge -prosessidiagnostiikkajärjestelmän rajapinnaksi valittiin siis Siemensin SIMATIC NET Softnet OPC DA -palvelin, joka liittyy suoraan prosessiasemaan järjestelmäväylän kautta. OPC-palvelinratkaisuja vertailtaessa arvioitiin puhtaasti ohjelmistopohjaisen, OS-palvelimia kuormittamattoman, suoraan prosessiasemaan liitettävän OPC-palvelimen tarjoavan parhaan hyödyn hankintakustannuksiin nähden. Lopullinen varmuus OPC-palvelimen suorituskyvyn riittävydestä voitiin kuitenkin saada vasta testivaiheessa.

## 6 UUSI TIEDONKERUU- JA ANALYSOINTIJÄRJESTELMÄ

Uuden tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmän integroiminen jo olemassa olevaan prosessinohjausjärjestelmään edellytti ohjelmistohankintojen lisäksi myös laitteistohankintoja. Savcor Wedge -palvelinohjelmistoa ja OPC-palvelinta varten järjestelmään täytyi lisätä uusi PC-asema. Tässä luvussa esitellään uuden järjestelmän laitteisto ja arkkitehtuuri sekä uuden järjestelmän tutkimustoiminnalle tarjoamat keskeisimmät ominaisuudet.

### 6.1 Palvelinlaitteisto

Uuden palvelinlaitteiston hankinnassa lähdettiin liikkeelle arvioimalla laitteiston tulevaa kuormitusta ja tallennuskapasiteetin tarvetta. Käytännössä uuden palvelinlaitteiston tulisi pystyä pyörittämään OPC-palvelinohjelmistoa, huolehtimaan prosessidatan jatkuvasta tallentamisesta ja prosessidatasta mahdollisesti tehtävistä laskennoista sekä samanaikaisesti tarjoamaan aiemmin tallennettua dataa tietokannasta tutkijoille.

Käytännössä yksi mittaus vie Wedgen tietokannassa tilaa 10 tavua. Tämän perusteella vertailukohdaksi otettu vuosittaisen tallennuskapasiteetin tarve voitiin karkeasti arvioida maksimissaan n. 441GB suuruiseksi:

$$\frac{1500 \text{ tag/s} * (60 \text{ s} * 60 \text{ min} * 24 \text{ h} * 365 \text{ d}) * 10 \text{ B}}{1024^3} = 440,552... \text{ GB} \approx 441 \text{ GB}$$

OPC- ja Wedge-palvelinohjelmistot eivät itsessään aseta erityisiä vaatimuksia palvelinlaitteiston suorituskyvylle ja kun laskennoistakin suurin osa suoritetaan tässä vai-



heessa prosessinohjausjärjestelmän puolella, ei komponenttien valinta prosessorin ja keskusmuistin osalta ollut kriittinen. Taulukossa 4 on esitetty uuden palvelinlaitteiston kokoonpano ja komponentit.

**TAULUKKO 4. Uuden palvelinlaitteiston kokoonpano**

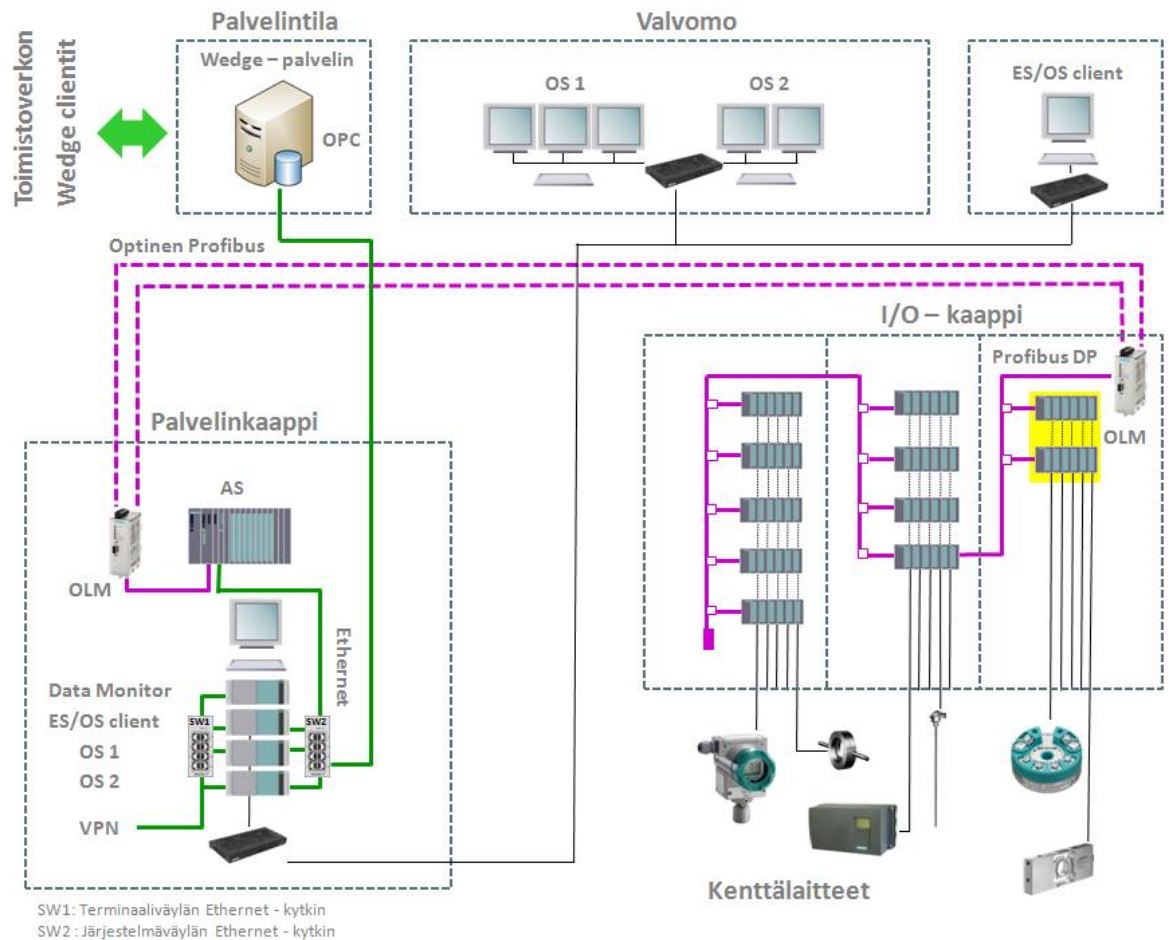
Kuvaus	kpl
PowerEdge R510 Rack-kotelo enintään 8x 3.5" Hot Plug -kiintolevylle ja Intel 55xx/56xx prosessoreille, LCD diagnostiikka, Tuki Hot Swap -virtalähteille	1
Intel Xeon E5620 -neliydinprosessori (2.40GHz, 4C, 12M välimuisti, 5.86 GT/s QPI, 80W TDP, Turbo, HT)	1
12GB keskusmuistia (3x4GB RDIMM, 1333MHz)	1
250GB SATA 7.2k 3.5" Hot Plug -kiintolevy järjestelmälle	2
1TB SATA 7.2k 3.5" Hot Plug -kiintolevy datalle	4
Broadcom® NetXtremeTM 5709 Gigabit Ethernet -verkkokortti	2
PERC H700 integroitu RAID-kontrolleri, 512MB välimuistilla	1
16X DVD-ROM -asema SATA (R510/R515)	1
Kahdennettu virtalähde, 750W	1
iDRAC6 Enterprise -kontrolleri etähallintaan	1
Windows Server 2003 R2 Standard Edition, 32-bit käyttöjärjestelmä	1
C30 Hot-Swap 8HD-R1/R5 for PERC 6i/H700, kahdelle primääri ja 3-6:lle Hot Plug -lisäkiintolevylle	1

Uusi palvelinlaitteisto perustuu Dellin PowerEdge 510 -sarjan kehikkopalvelimeen, joka tarjoaa tuen enintään kahdeksalle Hot Plug -kiintolevylle sekä kahdennetulle virtalähteelle. Prosessorina on Intelin Xeon E5620 -sarjan neliydinprosessori ja 12GB:n keskusmuisti on toteutettu kolmella 4GB:n DDR3 RDIMM -kammalla. Verkko-liittynnoille on kaksi Broadcom NetXtremeTM -verkkokorttia, joista toisella liitytään prosessinohjausjärjestelmän järjestelmäväylään ja toisella toimistoverkkoon. OPC- ja Wedge-palvelinohjelmistojen alustavaatimusten vuoksi käyttöjärjestelmänä on 32-bittinen Windows Server 2003 SP 2. Käytännössä tämä rajoittaa hyödynnettävän keskusmuistin määrän 4 gigatavuun.

Tallennustilan osalta palvelimessa on yhteensä kuusi kiintolevyä, joista kaksi 250GB:n levyä on omistettu järjestelmälle ja neljä teratavun levyä datalle. Laitteiston vikasietoisuuden ja suorituskyvyn parantamiseksi järjestelmälevyt on peilattu keskenään RAID1-tekniikalla ja datalevyt on yhdistetty RAID5-tekniikkaa käyttäen. RAID1-tekniikalla peilatussa järjestelmälevyssä sama data on tallennettu molemmille fyysille levyille. Käytännössä tämä pudottaa fyysisten levyjen yhteenlasketun tallennuskapasiteetin puoleen, mutta sallii toisen levyn rikkoutumisen ilman, että dataa menetetään. RAID5-tekniikka perustuu pariteettidataan, joka vie kokonaistallennuskapasiteetista yhden fyysisen levyn verran tilaa. Käytännössä siis neljän 1TB levyn RAID5-pakasta jää 3TB datalle ja 1TB pariteettidatalle. RAID5-tekniikka sallii yhden, minkä tahansa fyysisen levyn rikkoutumisen pakassa ilman, että dataa menetetään. RAID-pakat on toteutettu laitteistopohjaisen RAID-kontrollerin avulla. Koska sekä kiintolevyille että virtalähteille on laitteistossa Hot Swap/Hot Plug -tuki, voidaan komponentteja vaihtaa sallituissa rajoissa ilman että palvelimen toiminta häiriintyy.

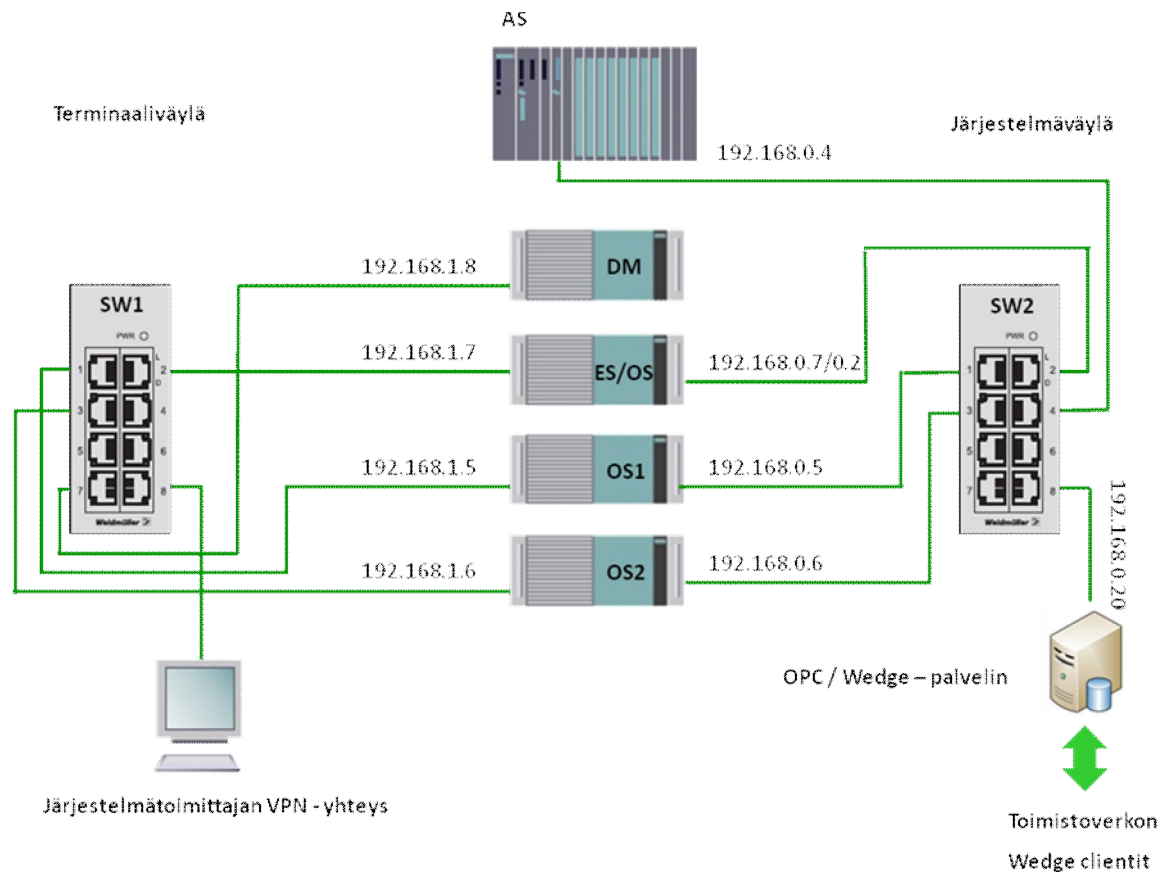
## 6.2 Uusi järjestelmäarkkitehtuuri

Uusi tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmä sekä liityntärajapintana prosessinohjausjärjestelmään toimiva OPC-palvelin tulevat uudessa asennuksessa sijaitsemaan samalla fyysisellä PC-asemalla. OPC-palvelimen tyypistä johtuen PC-asema liitetään järjestelmäväylän kautta suoraan prosessiasemaan. Uuden järjestelmän arkkitehtuuri on esitetty seuraavassa kuviossa (vrt. Kuvio 11).



**KUVIO 27. Järjestelmän päivitetty layout-kuva**

Uusi PC-asema on sijoitettu erilliseen, suojattuun palvelintilaan ja se on yhdistetty prosessiasemaan Ethernet-järjestelmäväylän kytkimen SW2 kautta. Muutoin alkuperäiseen laitteistokonfiguraatioon ei tarvinnut tehdä muutoksia. Seuraavassa kuvassa on esitetty yksityiskohtaisemmin uudet Ethernet-verkon kytkennät ja IP-osoitteet.



**KUVIO 28. Päivitetyt ethernet-verkkojen kytkennät ja IP-osoitteet**

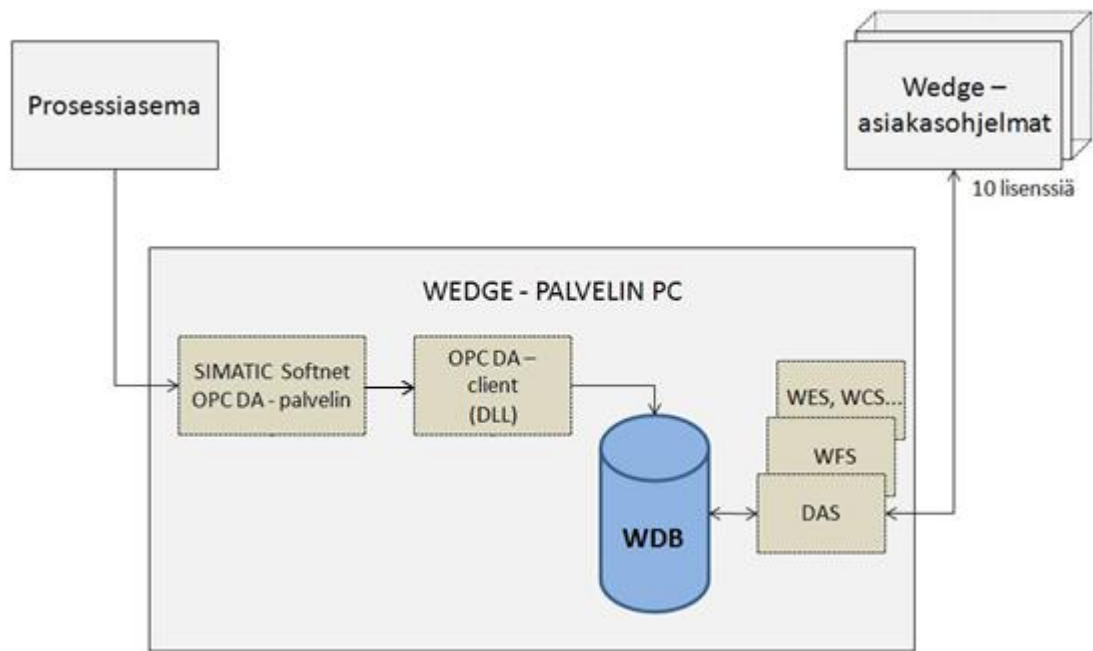
Järjestelmäväylässä uusi PC-asema saa IP-osoitteen 192.168.0.20. Kuten kuvioista 27 ja 28, nähdään, PC-asema on kytketty järjestelmäväylän lisäksi myös toimistoverkoon. Toimistoverkon kautta tutkijat voivat omilta työpisteiltään käsin Wedge-asiakasohjelmistojen avulla hakea tallennettua prosessidataa Wedge-palvelimen tietokannasta.

### 6.3 Ohjelmistorajapinta

Kuten jo edellä mainittiin sekä OPC- että Wedge-palvelinohjelmistot sijaitsevat järjestelmään lisätyllä uudella palvelinkoneella. Kappaleessa 6.1 esitelty palvelinkone yhdistyy prosessiasemaan prosessinohjausjärjestelmän järjestelmäväylän kautta. Palve-

linkoneella pyörivä SIMATIC NET Softnet OPC DA -palvelin välittää suoraan prosessiasemalta saatavaa reaaliaikaista prosessidataa Wedgen tietokantaan (WDB, Wedge Database) COM-kirjaston ja Wedge-ohjelmiston OPC DA clientin avulla (ks. Kuvio 29). Käytännössä Wedge-ohjelmiston OPC DA client käyttää OPC-palvelinta DLL-kirjaston läpi, jolloin OPC - palvelin toimii sen kanssa samassa prosessitilassa. Yhteys on siis in-process -tyyppinen.

Tiedonkeruupalvelin on yhteydessä myös toimistoverkkoon, jonka koneille tämän hetkisen lisensoinnin mukaiset kymmenen Wedge-asiakasohjelmaa on asennettu. Wedge-tietokannan ja Wedge-asiakasohjelmien välistä kommunikointia varten Wedgessä on omat sisäiset palvelinohjelmistonsa (DAS, WFS ym.) Näitä Wedgen sisäisiä palvelinohjelmistoja sekä WDB-tietokantaa käsitellään tarkemmin luvussa 6.4.1. ja 6.4.2 (Mt.)



**KUVIO 29. Tiedonkeruupalvelimen sisäinen ohjelmistoarkkitehtuuri**

## 6.4 Savcor Wedge® -prosessidiagnostiikkajärjestelmä

Wedge on alun perin KCL:n (Oy Keskuslaboratorio, Centrallaboratorium Ab) kehittämä, nykyisin Savcor Forest Oy:n omistama ja ylläpitämä prosessidatan keräämiseen, analysointiin ja prosessivaihteluiden hallintaan tarkoitettu ohjelmistotyökalu. Yleisesti Euroopan paperiteollisuudessa käytössä olevan ohjelman tyypillisiä käyttökohteita ovat lopputuotteen laatuvaihteluiden minimointi ja tuotannon tehokkuuden parantaminen. Seuraavissa kappaleissa esitellään Wedgen pääosat ja tutkimuksen kannalta keskeisimmät analyysityökalut. (Savcor Wedge® -Käyttöopas 2009, 9.)

### 6.4.1 Tietolähteet

Wedge-prosessidiagnostiikkajärjestelmässä voidaan hyödyntää useita erilaisia tietolähteitä. Yleisimmät prosessinohjausjärjestelmien yhteydessä käytettävät tietokannat, kuten esimerkiksi Metso DNA:n IA, Honeywell PHD ja Microsoftin SQL-kanta ovat tuettuja. Wedgen tarjoamia analyysityökaluja voidaan siis käyttää näiden ulkoisten historiatietokantojen, ns. suorien tietolähteiden päällä. Lisäksi Wedge-palvelimelle tallennetuista ASCII-tiedostoista voidaan hakea dataa Wedge -järjestelmään analyysia varten. Tällöin ASCII-tiedostosta luodaan palvelimelle oma SQL-tietokanta, jota käytetään tietolähteenä. Lisäksi voidaan käyttää ns. Remote-tietolähdettä, jolla tarkoitetaan toisessa Wedge-järjestelmässä sijaitsevia DAS-palvelimen tietolähdettä. Prosessidataa on mahdollista kerätä myös järjestelmän mukana tulevaan WDB-tietokantaan (Wedge Data Base). Polttokoelaboratorioon käyttöönotettavassa Wedge-järjestelmässä käytetään kyseistä järjestelmän omaa WDB-tietokantaa (Savcor Wedge® -Käyttöopas 2009, 250.)

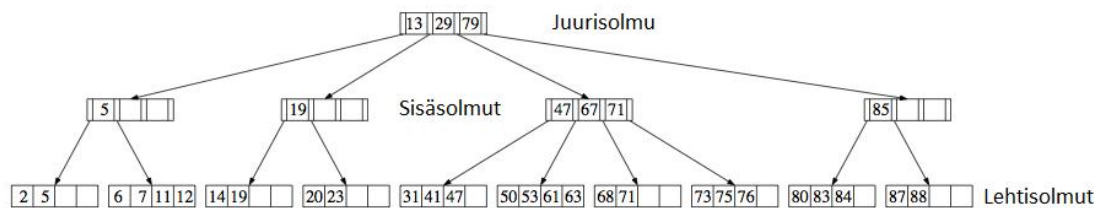
#### WDB-Tietokanta

WDB-tietokantaan tallennetaan kaikki Wedgen prosessinohjausjärjestelmästä keräämä prosessidata. WDB-tietokanta on aikasarjapohjainen, eli avaimena jokaiseen

yksittäisestä mittauksesta luotuun tietokannan tauluun toimii aikaleima, joka kertoo milloin mittaus on kerätty. Tietokantaan tallennettavan aikasarjan ei tarvitse olla jatkuva, joten tiedonkeruun ollessa poissa käytöstä tyhjä data ei täytä palvelimen kiintolevytilaa. WDB-tietokanta muodostuu kahdentyyppisistä tiedostoista, joista toinen WDF (Wedge Data File) sisältää varsinaisen mittausdatan ja toinen WIF (Wedge Index File) toimii WDF-tiedostoon tallennetun mittausdatan avainten tallennuspaikkana. WIF-tiedoston sisältämät indeksiavaimet on ryhmitelty B+ puurakenteeseen. (Suojärvi, Kanervo 2011.)

### B+-puu

B-puut ovat hakupuurakenteita, joiden avulla voidaan nopeuttaa levymuistissa sijaitsevista tietokannasta tehtyjä hakuja. Kiintolevyltä tehtävässä datan haussa suurin aika kuluu levyn lukupäältä oikean kohdan mekaaniseen hakemiseen. B+ puu on yksi B-puiden tyyppi, jolla puun korkeus ja siten myös kiintolevyltä tehtävien hakujen määrä pystytään pitämään suhteellisen pienenä. Binäärihakupuun muodostuu juuri-, sisä- ja lehtisolmuista (ks. Kuvio 30). Tavallisesti levymuistissa olevan B+-puun korkeus on 2-3 solmua. (Suojärvi, Kanervo 2011; Ramakrishnan & Gehrke 2003, 344–345.)



**KUVIO 30. Esimerkki B+-puusta**

B+-puurakenteessa kaikki puuhun tallennetut avaimet sijaitsevat lehtisolmuissa. Sisäsolmut sisältävät ns. viitta-arvoja, joita käytetään ohjaamaan avaimen hakua puun ylemmillä tasoilla. (Ramakrishnan & Gehrke 2003, 345–346.)

Haku B+-puusta toimii seuraavasti:

- Haettavan avaimen k haku alkaa juurisolmusta x
- Haetaan solmusta ensimmäinen viitta-arvo, joka on yhtä suuri tai suurempi kuin haettava avain k. Tämän jälkeen haku jatkuu solmusta, johon löydetty viitta-arvo viittaa.
- Tilanteessa, jossa kaikki solmun viitta-arvot ovat pienempiä kuin haettava avain k jatketaan hakua solmusta, johon viimeinen viitta-arvon viittaa.
- Jos solmu x on lehtisolmu, etsitään avain tästä lehtisolmusta

Esimerkiksi jos B+-puun jokaisella solmulla on sata lapsisolmua ja puun korkeus on 2, voidaan yhteensä miljoonasta mahdollisesta avaimesta jokainen saavuttaa kolmella levyhaulla. (Mts. 347)

WDB-tietokannassa jokaiselle kanavalle (mittaukselle) luodaan oma B+-puu. Tällä tavoin tietorakenteen joustavuus sekä uudelleen konfiguroinnin tarve kanavia lisätessä ja poistettaessa vähenee. Säännöllisesti suoritettavilla puhdistustoiminnoilla poistetaan turha data tietokannasta. (Suojarvi, Kanervo 2011.)

#### 6.4.2 Sisäiset palvelimet

Wedge hyödyntää toiminnassaan sisäisiä palvelimia, joihin kytkeydytään Wedgen käynnistyksen yhteydessä:

- WCS (Wedge Configuration Server) on konfiguraatiopalvelin, joka vastaa käyttäjäasetusten tallentamisesta ja tietolähteiden kanavatiedoista.

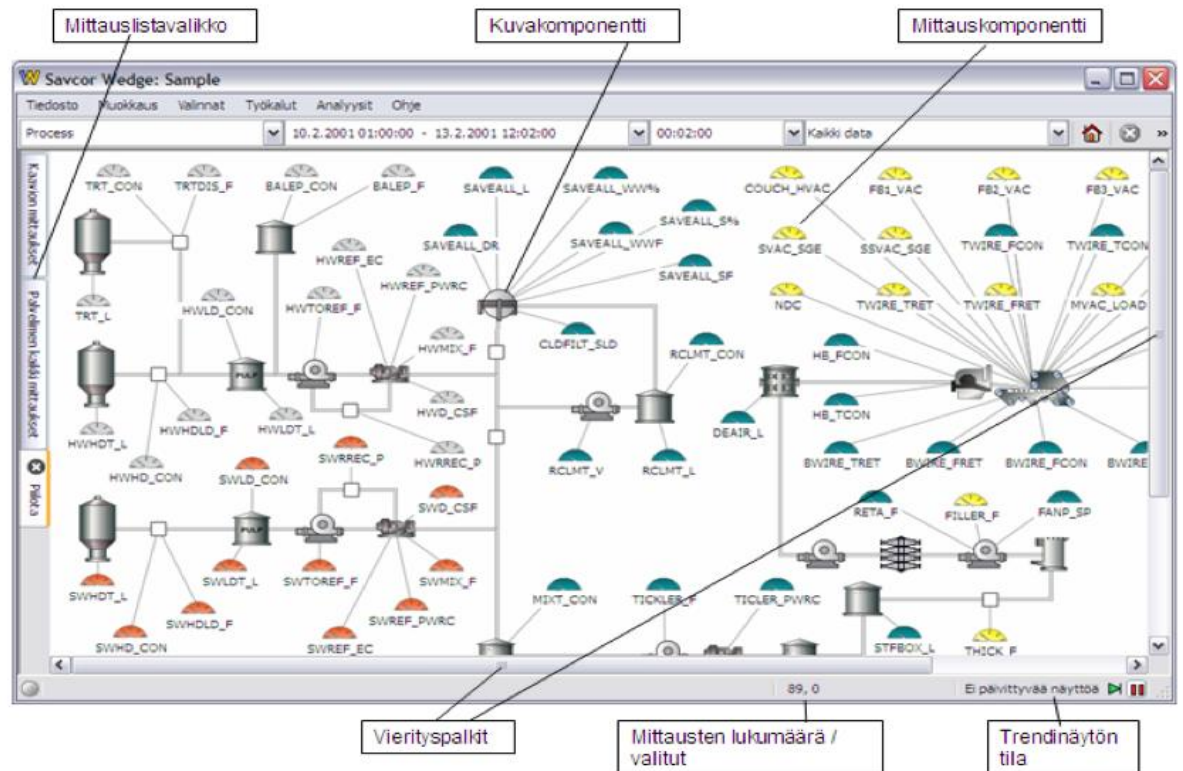


- DAS (Data Acquisition Server) on datapalvelin, jonka avulla Wedge lukee mitausdataa eri tietolähteistä esim. WDB-tietokannasta. Jokaiseen datapalvelimeen kuuluu tavallisesti vähintään yksi tietolähde, johon puolestaan kuuluu vähintään yksi mittaus. Samassa palvelinkoneessa vain yksi datapalvelin kerrallaan voi olla aktiivisena.
- WES (Wedge Event Server) eli hälytyspalvelin on palvelinohjelma, jonka avulla seurataan taustatarkkailun tilaa ja välitetään hälytykset niitä seuraaville asiakasohjelmille.
- WFS (Wedge File Server) on tiedostopalvelin, joka huolehtii kaaviotiedostojen tallettamisesta ja varastoinnista palvelimelle. Tällä tavoin kerran luodut prosessikaaviot ovat keskitetysti kaikkien Wedge-asiakasohjelmiston käyttäjien hyödynnettävissä.
- MATLAB-palvelin mahdollistaa laskentatoimintojen käytön (Savcor® Wedge - Käyttöopas 2009, 235–236.)

#### 6.4.3 Asiakasohjelmiston käyttöliittymä

Tietokantaan tallennettua prosessidataa päästään analysoimaan Savcor Wedge - prosessidiagnostiikkajärjestelmän asiakasohjelman avulla. Käytännössä asiakasohjelmat on asennettu toimistoverkossa sijaitseville tutkijoiden omille työasemille, joilta käsin tehdään hakuja toimistoverkkoa käyttäen Wedge-palvelimen tietokantaan.

Asiakasohjelmassa on kuviossa 31 esitetty graafinen käyttöliittymä, jossa tietokantaan kerättävä prosessidata esitetään prosessikaavioiden muodossa. Prosessikaaviot muodostuvat pääasiassa mittaus- ja kuvakomponenteista. Prosessikaavioista voidaan luoda myös hierarkkisia rakenteita todellisen prosessin mukaisesti. (Savcor® Wedge - Käyttöopas 2009, 16.)

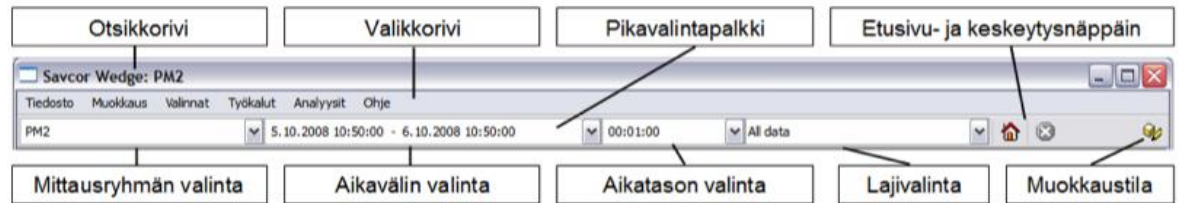


**KUVIO 31. Savcor Wedge -prosessidiagnostiikkajärjestelmän käyttöliittymä (Savcor® Wedge - Käyttöopas 2009, 17)**

Prosessikaavioihin asetetut mittauskomponentit ovat linkkejä prosessinohjausjärjestelmän mittauksiin ja niiden kautta mittauksista kerätty data voidaan esittää trendeinä. Kuvakomponentit eivät sisällä prosessidataa, vaan niiden tehtävä on helpottaa prosessin hahmottamista. Kuvakomponenttien avulla voidaan siis piirtää kaaviokuva todellisesta prosessista sekä sen laitteista. Wedge sisältää valmiita piirtokomponenttikirjastoja, joista löytyy komponentteja eri toimialoille kuten esimerkiksi energia- ja paperinvalmistusprosesseille. Lisäksi piirtokomponentteja on mahdollista tuoda ohjelman ulkopuolelta esimerkiksi JPG- ja GIF-formaateissa. Käytännössä koko mittauskomponenttien tausta voidaan tuoda yhtenä kuvana esimerkiksi suoraan prosessinohjausjärjestelmän valvomonäytöstä. (Mts. 16–18.)

Pääikkunan yläreunasta löytyy otsikko- ja valikkorivien lisäksi pikavalintapalkki, jonka avulla Wedgelle määritellään haluttu aikaväli ja -taso sekä mittausryhmä ja laji sen

prosessidatan mukaan, jota halutaan käsitellä. Kuviossa 32 on esitetty Wedgen pääikkunan otsikko- ja valikkorivit sekä pikavalintapalkin toiminnot. (Mts. 15.)



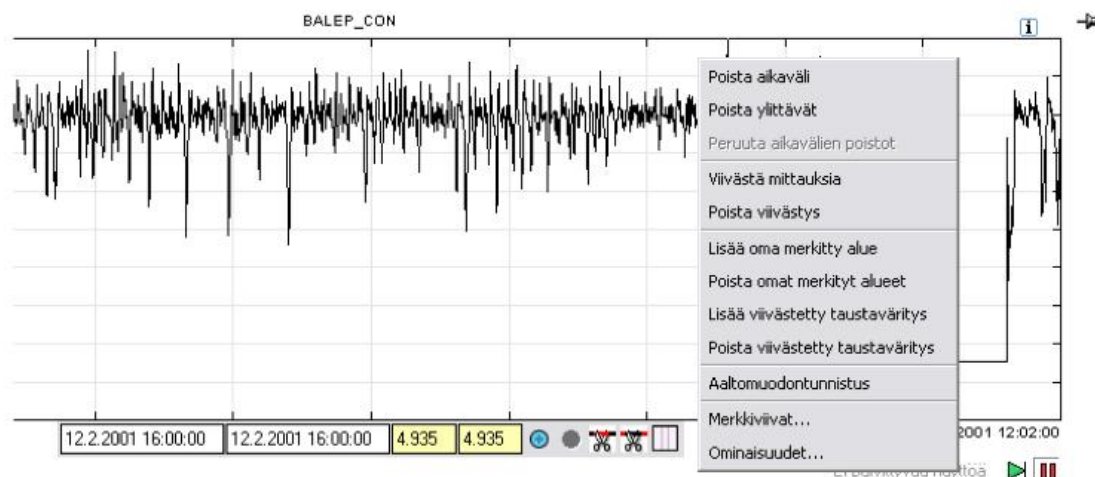
**KUVIO 32. Wedgen pääikkunan otsikko- ja valikkorivit sekä pikavalintapalkki (Savcor® Wedge -Käyttöopas 2009, 16)**

#### 6.4.4 Tutkimuksen työkalut

Wedge-asiakasohjelma tarjoaa graafisen käyttöliittymän kautta valikoiman valmiita työkaluja tietokantaan kerätyn prosessidatan esittämiseen, esikäsittelyyn, analysointiin sekä raportointiin.

##### Trendit ja datan esikäsittely

Käytännössä analyysin tekeminen alkaa datan esittämisestä visuaalisessa muodossa trendeinä (ks. kuvio 33). Trendejä on mahdollista esittää yksittäin omissa ikkunoissaan tai useita kerrallaan samassa ikkunassa. Trendeistä on havainnollisesti nähtävissä mittausdataan esim. polttoaineen syötöstä aiheutuneet häiriöt, joita ei niistä aiheutuvan virheen vuoksi haluta ottaa mukaan lopullisiin laskelmiin ja tuloksiin.



**KUVIO 33. Wedge-asiakasohjelman trendinäyttö ja muokkausvalikko (Savcor Wedge® - Käyttöopas 2009, 61)**

Luotettavien analyysitulosten saamiseksi voidaan virheellinen mittausdata joko merkitä puuttuvaksi tai leikata kokonaan pois. Ensin mainittua tapaa käytetään, kun analysoitavaan dataan ei haluta epäjatkuvuuskohtia. Tällainen virheellisen datan karsinta voidaan suorittaa joko yksittäisille mittauksille tai prosessin kaikille mittauksille kerralla. Toisena tapana virheellistä mittausdataa voidaan leikata joko ajallisesti valittu jakso tai suodattamalla kaikki jaksot, joiden aikana mittausarvo on ollut yli tai ali halutun raja-arvon. Datan leikkaus aiheuttaa epäjatkuvuuden aika-akseliin, mutta käytännössä tämä otetaan huomioon laskennassa, eikä virhettä lopullisiin analyysituloksiin pääse syntymään. Datan leikkausta käytettäessä on kuitenkin otettava huomioon, ettei kaavion muista mittauksista menetetä tärkeää informaatiota. (Savcor Wedge® -Käyttöopas 2009, 155–157.)

### Analyyysin työkalut

Wedgen analyysimenetelmien avulla on tarkoitus saada prosessista sellaista tietoa, joka perinteisempien trendityökalujen avulla on hankalaa. Seuraavassa on listattuna Wedgen analyysimenetelmät sekä niiden käyttötarkoitukset.

- Tilastotietojen avulla saadaan parempi kuva mittausdatasta ja prosessin tilanteesta. Esimerkkinä mittausdatan hajonnan tutkiminen
- XY-kuvaajien avulla voidaan tutkia kahden mittauksen välisiä riippuvuuksia graafisesti tai vaihtoehtoisesti sovituksien avulla.
- Histogrammi kertoo mittausdatan jakauman
- Korrelaatiokertoimen avulla voidaan tutkia mittausdatojen samanmuotoisuutta
- Ristikorrelaation avulla voidaan selvittää mittauksen viiveellisiä korrelaatioita sekä autokorrelaatiota
- Spektri-työkalulla voidaan tutkia mittaussignaalin jaksollisuutta sekä sen tehon jakaumista eri taajuuksille
- Jaksolliset vaihtelut -analyysillä voidaan paljastaa mittauksen samalla jaksonpituudella tapahtuvia vaihteluita
- MAR-navigaattorin avulla voidaan selvittää jaksollisten prosessivaihteluiden alkuperää
- Aaltomuodontunnistuksella voidaan paljastaa kertaluonteisten ilmiöiden syitä
- Tilastollista prosessitarkkailua voidaan käyttää prosessin toiminnan muutoksien havaitsemiseen sekä syiden hakemiseen
- Laskennallisten mittauksen avulla voidaan prosessista saatavien todellisten mittausarvojen perusteella tehdä varsinaista analyysia avustavaa laskentaa.

Tyypillisesti laskenta voi olla esim. yksikkömuunnoksia tai taselaskentaa. Käytännössä laskenta tehdään MATLAB-funktioilla.

- Pääkomponenttianalyysi (PCA, Principal Component Analysis) tarjoaa työkalun suurten korreloituneiden mittausjoukkojen tarkasteluun. Sen avulla mahdollinen häirionlähde voidaan löytää nopeasti tutkittavasta mittausdatasta.

Tehtyjen analyysien päälle voidaan lisätä uusia analyysejä. Esimerkiksi avoimna olevaan tilastotietotaulukkoon voi lisätä korrelaatiomatriisin nähdäkseen kyseisten mitausten väliset korrelaatiokertoimet. (Savcor Wedge® -Käyttöopas 2009, 158–169.)

## Raportointi

Prosessista kerätyn mittausdatan esikäsittely- ja analyysitoimintojen lisäksi Savcor Wedge tarjoaa ohjatun raportointitoiminnon. Raportointi voidaan määrittää automaattisesti tiettyinä aikoina tapahtuvaksi tai se voidaan suorittaa myös manuaalisesti etukäteen määritettyjä raporttipohjia käyttäen. Raporttipohjia varten ohjatussa toiminnossa määritellään raporttiin halutut mittaukset sekä ajanjakso ja aikataso, joiden perusteella mittausdata raporttiin haetaan. Raportit voivat sisältää trendejä ja tilastotietoja tai pelkästään toisia näistä. Käytännössä raportit voidaan tulostaa suoraan paperille tai niistä voidaan luoda PDF-tiedosto. (Savcor Wedge® -Käyttöopas 2009, 126–134.)

## Muut ominaisuudet

Savcor Wedge sisältää myös muita tutkimustyötä tehostavia ominaisuuksia. Wedgen tietokannasta haettua, mahdollisesti Wedgen työkaluilla esikäsiteltyä dataa voidaan viedä ohjelman ulkopuolelle joko tekstitiedostoon ASCII-tallennus toimintoa käyttäen tai suoraan MS Excel -ohjelmaan leikepöydän avulla. Näin voidaan tarvittaessa suorittaa esimerkiksi mittausdatan jatkokäsittely tai raportointi jossain muussa ohjelmassa. (Savcor Wedge® -Käyttöopas 2009, 142.)

Wedge tarjoaa mahdollisuuden myös makrojen käyttöön. Usein toistuvien Wedge-toimintojen suorittamista voidaan tehostaa tallentamalla ne makroiin, joita voidaan suorittaa joko manuaalisesti esim. prosessikaavion makrolinkin avulla tai automaattisina taustamakroina. Tyypillisiä taustamakroja ovat esimerkiksi haluttujen mittausten tai laskentojen raportointi trendipiirtona tietyin aikavälein. Makrojen luominen tapahtuu perinteisesti nauhoittamalla ja valmiiden makrojen muokkaus on mahdollista WedgeLISP-ohjelmointikielen avulla. WedgeLISP muistuttaa läheisesti LISP (List Processing)-ohjelmointikieltä. (Mts. 135–139.)

## 7 KÄYTTÖÖNOTTO JA TESTAUS

Uuden Wedge-prosessidiagnostiikkajärjestelmän käyttöönotto aloitettiin luvussa 6.1 esitellyn uuden palvelinlaitteiston ja sen ohjelmistoalustan asennuksella sekä verkkoyhteyksien konfiguroinnilla. Suurin osa asennus- ja konfigurointitöistä suoritettiin itse. Ainoastaan Wedge-palvelinohjelmiston asennus ja konfigurointi tarvittavia prosessikaavioita ja lopullista testausta lukuun ottamatta sisältyivät Savcorin kanssa tehtyyn hankintasopimukseen. Seuraavissa luvussa 7.1–7.7 käydään läpi käyttöönoton eri vaiheet sekä suunnitellaan ja toteutetaan valmiin järjestelmän testaus.

### 7.1 OPC-palvelimen asennus ja konfigurointi

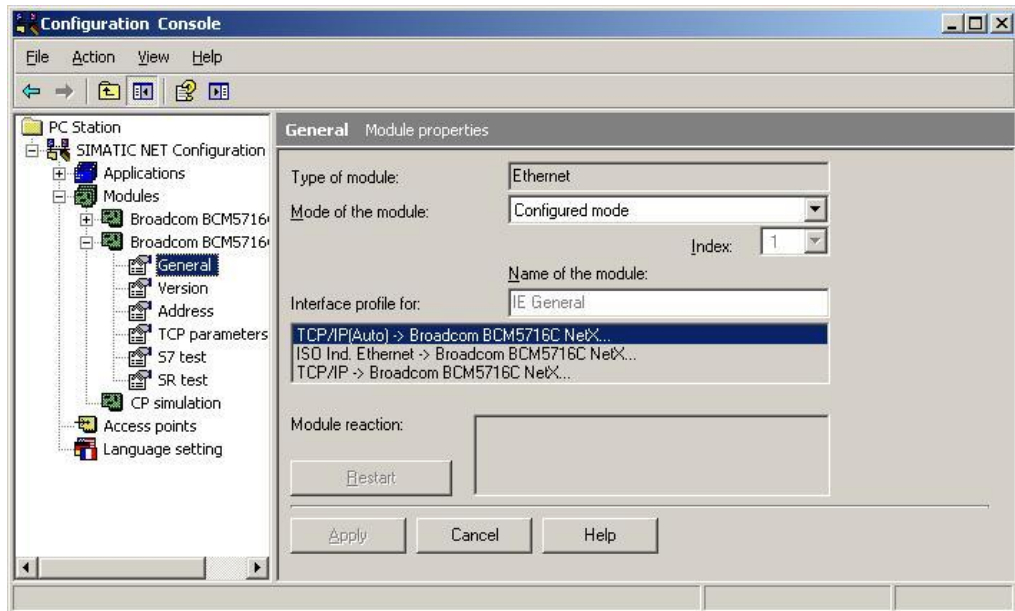
Ennen OPC-palvelimen asennusta oli uusi palvelinlaitteisto ohjelmistoinen asennettu sekä verkkoyhteydet konfiguroitu luvussa 6.2 esitetyn mukaisesti. Ensimmäiseksi palvelinkoneeseen asennettiin SIMATIC NET PC Software ja tarvittavat lisenssit siirrettiin ohjelmiston mukana tulleet USB-tikulta License Manager -ohjelmaa käyttäen palvelinkoneen järjestelmälevylle. Koska kyseessä ei ole Siemensin valmistama palvelinkone, täytyi Basic-lisenssin lisäksi myös Lean-lisenssi ottaa käyttöön.

OPC-palvelimen konfigurointi aloitettiin palvelinkoneella avaamalla Configuration Console -ohjelma (ks. kuvio 34), jossa jokaiselle palvelinkoneessa olevalle kommunikointikortille voidaan valita haluttu toimintatapa:

- PG Operation: esim. STEP7-ohjelmointi ja WinCC-yhteydet
- Configured Mode : esim. OPC-palvelin tai oma sovellus

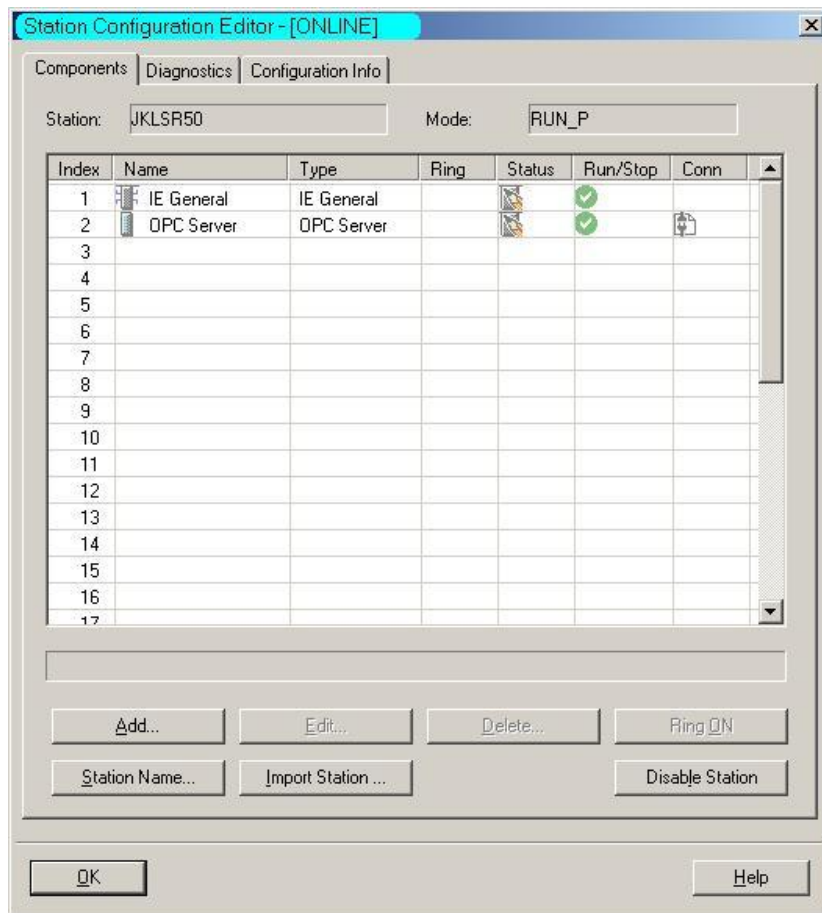


Tässä tapauksessa palvelinkoneen prosessinohjausjärjestelmän järjestelmäväylään liitetulle verkkokortille valittiin toimintatavaksi Configured Mode ja toimistoverkkoon liitetty verkkokortti jätettiin PG Operation -tilaan.



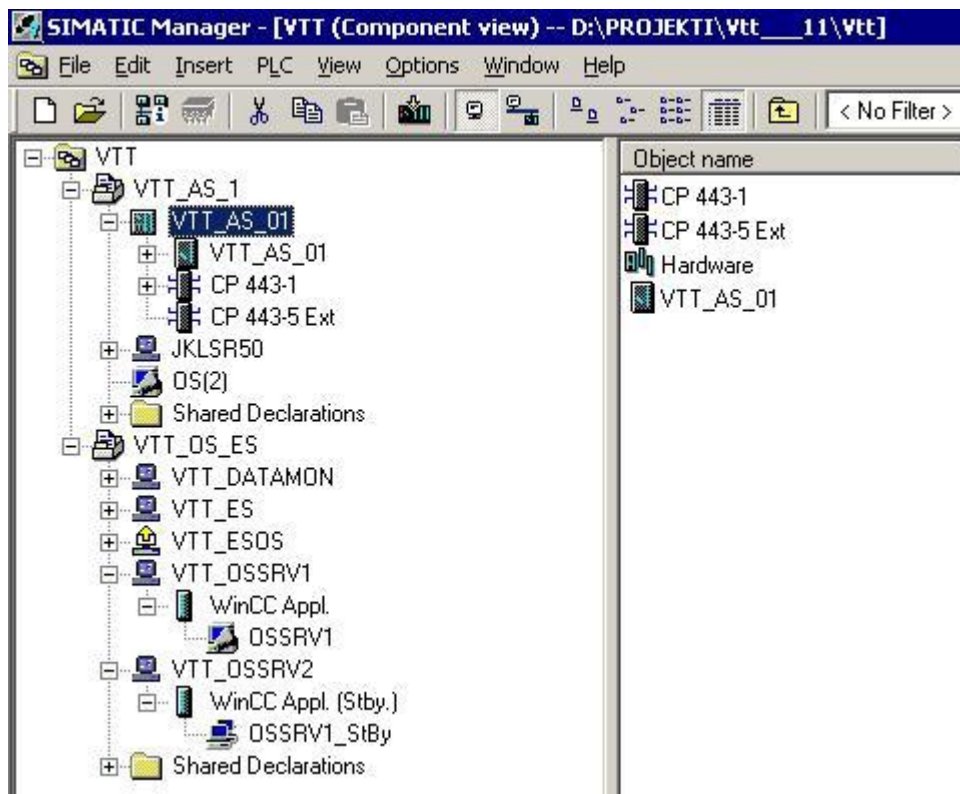
**KUVIO 34. Järjestelmäväylään liittyvän verkkokortin asetukset Configuration Consolessa**

Seuraavaksi avattiin palvelinkoneella Station Configuration Editor (ks. kuvio 35), jossa kaikki koneen Configured Mode -tilassa olevat verkkokortit näkyvät. Tässä tapauksessa näkyvissä oli siis vain yksi kortti ensimmäisessä indeksissä. Seuraavaksi toiseen indeksiin lisättiin Add Component -toiminnolla pudotusvalikosta OPC Server. Viimeisenä PC-aseman nimi vaihdettiin muotoon JKLSR50, jonka jälkeen vielä varmistettiin että PC Station on RUN\_P tilassa.



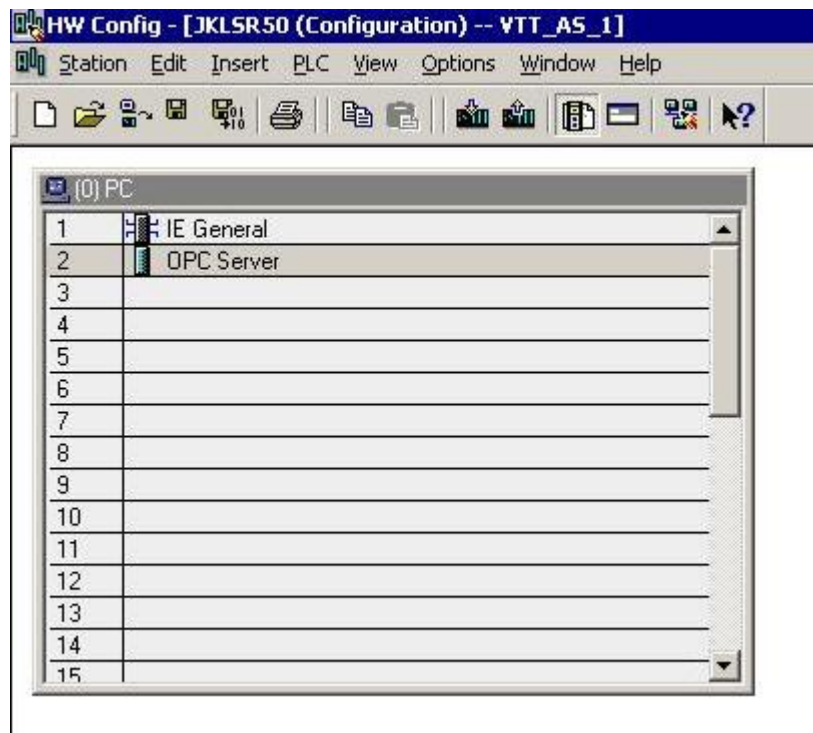
**KUVIO 35. Valmis OPC-palvelimen konfiguraatio Station Configuration Editorissa**

Tässä vaiheessa lähes kaikki tarvittavat määrittäykset palvelinkoneella oli tehty. Seuraavaksi siirryttiin ES-asemalle, jossa olemassa olevaan PCS7-projektiin lisättiin uusi PC-asema. Olemassa oleva projekti oli tyypiltään multiprojekti, jossa AS ja prosessinohjausjärjestelmän PC-asemat oli konfiguroitu omiin projekteihinsa. Tässä tapauksessa uusi PC-asema piti yhteyden toimivuuden vuoksi lisätä samaan projektiin prosessiaseman kanssa (ks. kuvio 36).



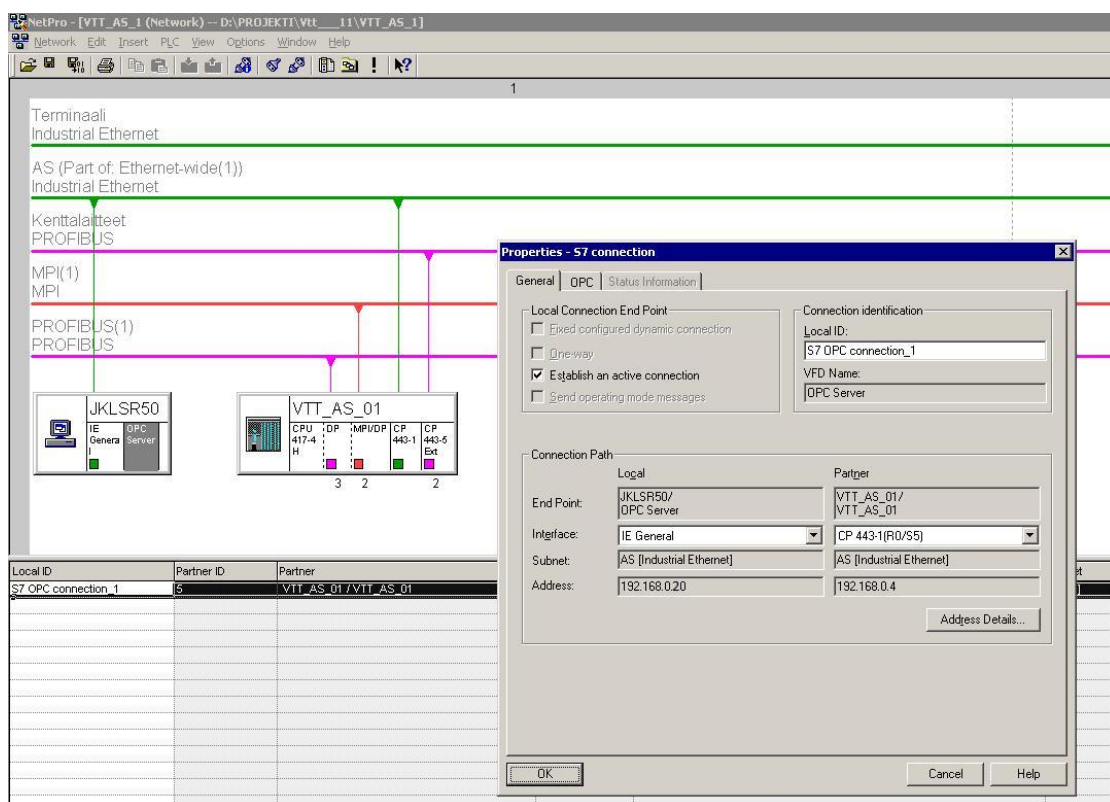
**KUVIO 36. JKLSR50-palvelimen sijoittuminen PCS7 - projektiin**

Uuden PC-aseman nimen tuli olla sama kuin aiemmin Station Configuration Editorissa määriteltä, eli JKLSR50. Seuraavaksi Simatic Managerista avatiin uuden PC-aseman Hardware Configuration -ikkuna (ks. kuvio 37), jossa PC-aseman virtuaalisen rakin ensimmäiseen indeksiin lisättiin katalogista kommunikointikortti. Koska palvelinkoneessa käytetään standardia ethernet-verkkokorttia, valittiin korttityypiksi IE General. Jos käytössä olisi esim. Siemensin CP1613-verkkokortti, tulisi sitä käyttää tässä IE Generalin sijaan. Kommunikointikortin ominaisuudet-ikkunassa valittiin käytettävä väylä ja annettiin palvelinkoneen IP-osoite, joka on jo aiemminkin mainittu 192.168.0.20. Tämän jälkeen toiseen indeksiin lisättiin katalogista OPC Server. Tässä vaiheessa varmistettiin vielä, että laitteistokonfiguraatio vastaa aiemmin palvelinkoneen Station Configuration Editorissa määriteltä (ks. kuvio 35).



**KUVIO 37. JKLSR50-PC -aseman laitteistokonfiguraatio prosessinohjausjärjestelmässä**

Seuraavaksi valmis laitteistokonfiguraatio tallennettiin Save And Compile -toiminnolla. Tämän jälkeen Simatic Managerista avattiin NetPro-työkalu, jossa OPC-palvelimelle lisättiin uusi yhteys New Connection -toiminnolla. Yhteystyyppiä valittiin tässä tapauksessa S7 Connection, joka mahdollistaa S7-kommunikoinnin S7-300/400-sarjan logiikoiden kanssa S7-funktioilla. Avautuvasta valintaikkunasta pariaksi valittiin S7-400 -asema. S7-yhteyden asetuksista määriteltiin vain yhteydelle nimi. Muut asetukset tulivat automaattisesti oikein, koska S7-asema ja uusi PC-asema ovat samassa projektissa (ks. kuvio 38).



**KUVIO 38. JKLSR50-palvelinkoneen verkkokonfiguraatio prosessinohjausjärjestelmässä**

Ennen määrittelyjen tallennusta käytiin vielä OPC-palvelimen asetuksista ottamassa kaikki projektiin määritellyt symbolit käyttöön. Tämän jälkeen varmistettiin palvelinkoneen Configuration Consolesta, että S7 Online Access Point on oikea, minkä jälkeen konfiguraatio oli valmis ladattavaksi PC-asemalle. Latauksen jälkeen, viimeisenä asetuksena käytiin vielä palvelinkoneen Configuration Consolessa määrittelemässä OPC Serverille haluttu protokolla, joka tässä tapauksessa oli S7-protokolla.

Edellä esitetystä konfiguraatiosta prosessinohjausjärjestelmästä OPC-palvelimelle näkyvät prosessitagit määräytyvät suoraan projektin symbolitaulun sisällön mukaan. Jos symbolitauluun tehdään muutoksia, päivittyvät ne automaattisesti myös OPC-palvelimelle PC-aseman latauksen yhteydessä. Käytännössä tilanne oli se, että OPC-palvelimella näkyi sillä hetkellä vain prosessinohjausjärjestelmän toimittajan sinne suunnittelu- ja toteutusvaiheessa mm. ohjelmoinnin helpottamiseksi määrittelemiä symboleita. Suurin osa näistä symboleista viittasi kenttälaitteiden skaalaamattomaan

raakadataan, joka ei tutkimuksen ja tiedonkeruun kannalta sellaisenaan ole merkityksellistä.

## 7.2 Arkistoitavien prosessitagien määrittely OPC-palvelimelle

Seuraava vaihe OPC-palvelimen konfiguroinnissa oli lisätä symbolitauluun kaikki Wedgen tietokantaan arkistoitavat, valmiiksi skaalatut prosessitagit. Käytännössä tämä tarkoitti sovellusohjelman sisällä raakadatan skaalauksessa käytettävien ajureiden sisällön tuomista symbolitauluun ja sitä kautta OPC-palvelimelle. Toinen vaihtoehto olisi ollut viedä Wedgelle raakadata sellaisenaan ja suorittaa sen skaalaaminen vasta Wedge-palvelimella. Tätä ei kuitenkaan katsottu järkeväksi, koska skaalaaminen suoritetaan jo kertaalleen kaikille tuloille ja -lähdöille prosessinohjausjärjestelmässä

Kuten jo edellä mainittiin, raakadatan skaalaamisessa käytetään erillisiä ajuriblokkeja, jotka sovellusohjelman sisällä sijoitetaan käytännössä CFC-kaavioon ja langoitetaan vastaaviin peripharia-alueen osoitteisiin. Kun sovellusohjelma tallennetaan ja käännetään, jokaiselle ohjelmassa käytetylle blokille luodaan oma Instance DB - datablokkinsa. Valmiiksi skaalattu prosessidata on saatavissa näiden datablokkien sisältä, joten käytännössä skaalatun prosessidatan vieminen OPC-palvelimelle voitiin toteuttaa lisäämällä nämä datablokit projektin symbolitauluun.

### Ristiintaulukointi

Ennen kuin datablokkeja voitiin lisätä symbolitauluun, täytyi määrittää mistä datablokeista arkistointiin menevä data löytyy. Tätä tietoa ei ollut saatavissa suoraan prosessinohjausjärjestelmässä yhden taulukon muodossa, vaan se jouduttiin toteuttamaan ristiintaulukoinnilla kahdesta eri taulukosta. Ristiintaulukoinnin lähteinä toimivat PCS7-projektin prosessiobjektinäköymästä export-toiminolla viety lista projektin

kaikista blokeista sekä samasta näkymästä archive tags -välilehdeltä saatu lista projektin sillä hetkellä järjestelmän omilla arkistointitoiminnoilla arkistoitavista prosessitageista, joita oli yhteensä 1087 kpl. Lista projektin kaikista blokeista sisälsi tärkeän tiedon jokaiselle blokille luodusta Instance DB -datablokista ja arkistoitavien prosessitagien listasta saatiin tieto mistä blokeista arkistoitavat prosessitagit löytyvät. Koska samoja blokkinimiä oli käytössä eri CFC-kaavioissa, suoritettiin ristiintaulukointi yhdistämällä ensin CFC-kaavionimi ja blokkinimi poluksi (Char/Block). Koska CFC-editori ei hyväksy samannimisiä blokkeja samaan CFC-kaavioon, voitiin näin varmistua siitä, että jokainen ristiintaulukoinnissa käytettävä polku on uniikki. Tällä tavoin voitiin pienentää virheiden todennäköisyyttä.

Toisena vaihtoehtona olisi ollut projektin kaikkien Instance DB -datablokkien vieminen symbolitauluun, mutta sen ei katsottu blokkien suuren määrän ja useista duplikaattinimistä todennäköisesti aiheutuvien virheiden vuoksi olevan järkevää.

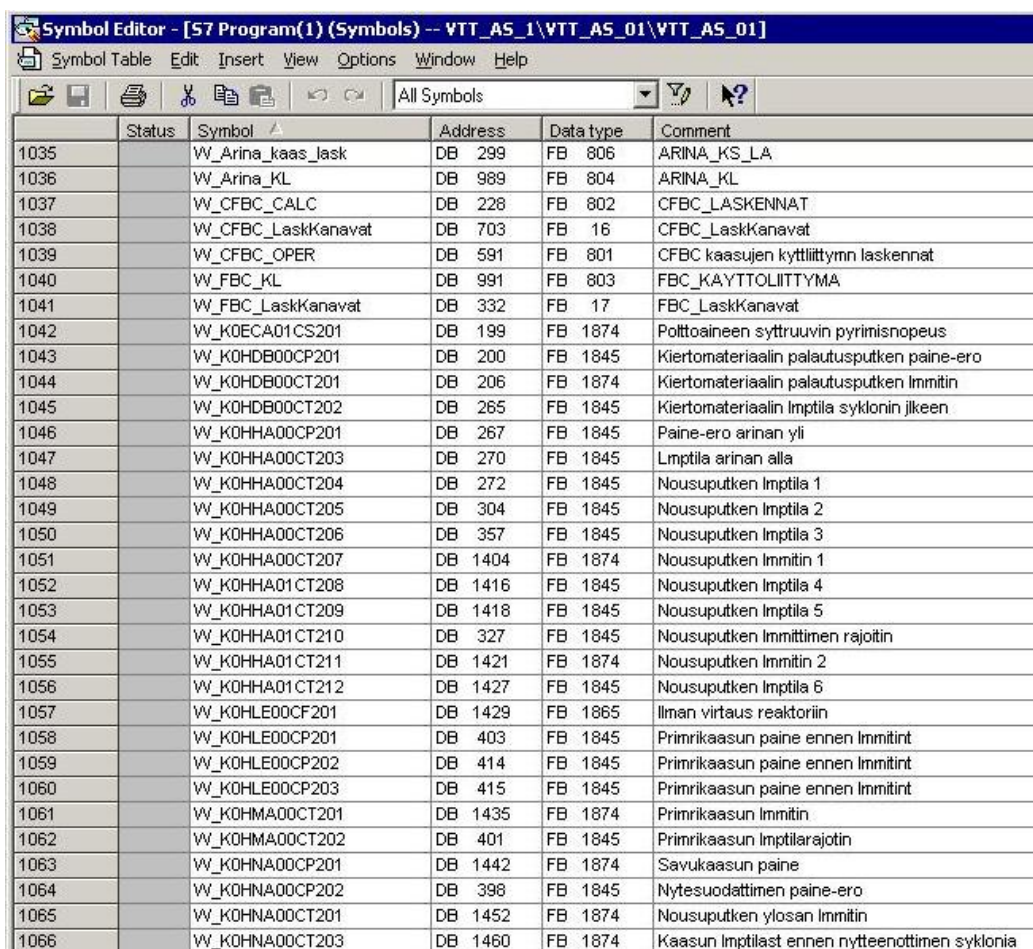
#### Symbolitaulun rajoitukset ja symbolien nimeäminen

Ristiintaulukoinnin tuloksena saatiin yhteensä 393 datablokkia, joiden sisältä kaikki arkistoitavat prosessitagit löytyvät. Symbolitauluun lisäämistä varten jokaiselle blokille tarvittiin nimi, instace DB -tunnus sekä kommentti. Kaikki edellä mainitut saatiin suoraan ristiintaulukoinnin tuloksista, mutta symbolitaulun rajoitusten vuoksi nimeäminen jouduttiin suunnittelemaan uudelleen.

Käytännössä symbolitaulu hyväksyy enintään 24 merkkiä pitkän nimen, eikä duplikaatteja saa nimen tai Instance DB -tunnuksen osalta esiintyä. Instance DB -tunnuksen puolesta duplikaattiongelmia ei ollut, mutta samoja blokkinimiä esiintyi aiemmin järjestelmäntoimittajan lisäämissä symboleissa. Edellä mainittujen yksilöllisten Chart/Block -polkujen käyttäminen nimissä olisi varmistanut uniikin nimeämisen, mutta sitä ei 24:n merkin rajoituksen ja käytössä olevien KKS-nimeämisjärjestelmän mukaisten vähintään 12-merkkisten positionimien vuoksi voitu käyttää. Näin ollen nimeäminen päätettiin toteuttaa käyttämällä pelkkää blokkinimeä, jota täydennettiin

yhdeksi ja kaikille arkistointiin meneville blokeille yhteisellä lisämäärällä: "W\_".

Symbolitaulun myöhemmän järjestelemisen helpottamiseksi lisämäärä lisättiin jokaisen positionimen alkuun, esim. W\_K2ECA01CS201. Näin arkistoitavat datablokit on helppo järjestää ja löytää symbolitaulusta myöhemminkin. Edellä esitettyjen periaatteiden mukaan luotiin Excel-taulukko, josta kaikki tarvittavat tiedot liitettiin suoraan PCS7-projektin symbolitauluun. (ks. kuvio 39).



Status	Symbol	Address	Data type	Comment
1035	W_Arina_kaas_lask	DB 299	FB 806	ARINA_KS_LA
1036	W_Arina_KL	DB 989	FB 804	ARINA_KL
1037	W_CFBC_CALC	DB 228	FB 802	CFBC_LASKENNAT
1038	W_CFBC_LaskKanavat	DB 703	FB 16	CFBC_LaskKanavat
1039	W_CFBC_OPER	DB 591	FB 801	CFBC kaasujen kyttliittymn laskennat
1040	W_FBC_KL	DB 991	FB 803	FBC_KAYTTOLIITYMA
1041	W_FBC_LaskKanavat	DB 332	FB 17	FBC_LaskKanavat
1042	W_K0ECA01CS201	DB 199	FB 1874	Polttoaineen sytttruuvn pyrimisnopeus
1043	W_K0HDB00CP201	DB 200	FB 1845	Kiertomateriaalin palautusputken paine-ero
1044	W_K0HDB00CT201	DB 206	FB 1874	Kiertomateriaalin palautusputken lmmittin
1045	W_K0HDB00CT202	DB 265	FB 1845	Kiertomateriaalin lmmptila syklorin jlkeen
1046	W_K0HHA00CP201	DB 267	FB 1845	Paine-ero arinan yli
1047	W_K0HHA00CT203	DB 270	FB 1845	Lmptila arinan alla
1048	W_K0HHA00CT204	DB 272	FB 1845	Nousuputken lmmptila 1
1049	W_K0HHA00CT205	DB 304	FB 1845	Nousuputken lmmptila 2
1050	W_K0HHA00CT206	DB 357	FB 1845	Nousuputken lmmptila 3
1051	W_K0HHA00CT207	DB 1404	FB 1874	Nousuputken lmmittin 1
1052	W_K0HHA01CT208	DB 1416	FB 1845	Nousuputken lmmptila 4
1053	W_K0HHA01CT209	DB 1418	FB 1845	Nousuputken lmmptila 5
1054	W_K0HHA01CT210	DB 327	FB 1845	Nousuputken lmmittimen rajoitin
1055	W_K0HHA01CT211	DB 1421	FB 1874	Nousuputken lmmittin 2
1056	W_K0HHA01CT212	DB 1427	FB 1845	Nousuputken lmmptila 6
1057	W_K0HLE00CF201	DB 1429	FB 1865	Ilman virtaus reaktoriin
1058	W_K0HLE00CP201	DB 403	FB 1845	Primrikaasun paine ennen lmmittint
1059	W_K0HLE00CP202	DB 414	FB 1845	Primrikaasun paine ennen lmmittint
1060	W_K0HLE00CP203	DB 415	FB 1845	Primrikaasun paine ennen lmmittint
1061	W_K0HMA00CT201	DB 1435	FB 1874	Primrikaasun lmmittin
1062	W_K0HMA00CT202	DB 401	FB 1845	Primrikaasun lmmptilarajotin
1063	W_K0HNA00CP201	DB 1442	FB 1874	Savukaasun paine
1064	W_K0HNA00CP202	DB 398	FB 1845	Nytesuodattimen paine-ero
1065	W_K0HNA00CT201	DB 1452	FB 1874	Nousuputken ylosan lmmittin
1066	W_K0HNA00CT203	DB 1460	FB 1874	Kaasun lmmptilast ennen nytteenottimen sykloria

**KUVIO 39. Symbolitauluun lisättyjä datablokkeja**

Symbolitaulun tallennuksen jälkeen PC-asemalle tehtiin vielä kääntö, tallennus ja lataus, jonka jälkeen lisätyt datablokit tulivat kansioina näkyviin OPC-palvelimelle. Kansioden sisällä oleviin arkistointiin meneviin prosessitageihin päästään viittaa-



maan suoralla polulla, joka esitellään tarkemmin Wedge-palvelimen tiedonkeruun konfiguraatiota esittelevässä luvussa 7.4

### 7.3 Wedge-palvelimen asennus ja konfigurointi

Wedge-ohjelmiston asennus uudelle tiedonkeruupalvelimelle aloitettiin asentamalla ensin Wedge client -ohjelmisto, joka sisältää tarvittavat ohjelmakirjastot. Client-ohjelmiston asennuksen jälkeen voitiin asentaa varsinainen Wedge-palvelinohjelmisto. Asennuksen jälkeen Wedge-palvelimelle annettiin nimeksi JKLSR50 ja määritettiin sen toimistoverkon sisäinen IP-osoite.

Seuraavaksi opcdawdbconfig.xml-nimiseen tiedostoon määriteltiin tiedonkeruussa käytettävä OPC-palvelin, lokitiedosto, tiedonkeruussa käytettävät keräyssykli- ja ryhmät (group), tiedonkeruun death band sekä tiedonkeruun tyyppi.

Keräyssykli- määräävät millä resoluutioilla prosessidataa WDB-tietokantaan kerätään ja siten luonnollisesti myös sen millä resoluutioilla prosessidataa voidaan myöhemmin kannasta hakea. Käytännössä dataa tullaan keräämään 1, 5 ja 10 sekunnin sekä 1 minuutin keräyssykleillä. Keräyssyklien lisäksi aikatasoille määriteltiin myös ajat, joilla kannat ns. irrotetaan. Toisin sanoen uusi tietokantatiedosto luodaan tämän ajan täyttyä. Irrotusajat määriteltiin seuraaviksi:

- 1s. aikataso -> 1 vuorokausi
- 5s. aikataso -> 1 viikko
- 10s. aikataso -> 1 kuukausi
- 1 min. aikataso -> 1 kuukausi

Ryhmäasetus määrää sen millaisissa ryhmissä OPC-palvelimella näkyviä prosessitageja käsitellään. Tässä tapauksessa yhden ryhmän kooksi määriteltiin tyypillinen 200

OPC-tagia/ryhmä. Näiden ryhmäkokojen muuttaminen tarjoaa tarvittaessa mahdollisuuden Wedgen ja OPC - palvelimen välisen kommunikoinnin optimointiin.

Death band -asetuksella tarkoitetaan neutraalia aluetta, jolla arkistoitava mittausta saa vaihdella ennen kuin se tulkitaan muuttuneeksi. Tässä tapauksessa death band -asetukseksi määriteltiin 0 % ja tiedonkeruun tyyppi synkroninen tallennus, mikä tarkoittaa että käytännössä kaikkien prosessitagien arvot tallennetaan joka syklillä.

Näiden määritysten jälkeen palvelimen D-asemalle Wedgedata-kansioon luotiin alikansiot aiemmin määritellyjä keräyssyklejä ja ilmoituksia varten:

- 1sec\_DAILY
- 5sec\_WEEKLY
- 10sec\_MONTHLY
- 60sec\_MONTHLY
- Messages

Lisäksi määriteltiin channels.txt-niminen tekstitiedosto, joka tulee sisältämään määritykset OPC-palvelimelta kerättävistä prosessitageista. Seuraavaksi konfiguroitiin asennuksen yhteydessä luotu wdbservice-niminen palvelu, joka hoitaa varsinaisen tiedonkeruun käynnistämisen. Tietokantaan muodostettavien ryhmien kooksi määriteltiin 500 kanavaa/ryhmä, mikä käytännössä tarkoittaa että 1087 prosessitagista muodostuu kolme WDF- ja WIF-tiedostoparia, joista kahdessa ensimmäisessä on 500 kanavaa kummassakin ja kolmannessa loput 87 kanavaa.

## 7.4 Arkistoitavien prosessitagien määrittely Wedge-palvelimelle

Kuten aiemmin mainittiin, arkistoitavat prosessitagit määritellään Wedge-palvelimella channels.txt nimisessä tiedostossa. Wedge sisältää tietolähteiden konfigurointityökalun, jolla tietolähteiden asetuksia ja parametreja voidaan muokata helposti. Arkistoitavia tageja voidaan lisätä joko yksi kerrallaan tai vaikka kaikki tagit sisältävän listan avulla. Kaikki muutokset päivittyvät suoraan channels.txt tiedostoon, jota voidaan lisäksi muokata tarvittaessa myös jollain ulkoisella tekstieditorilla. Viimeksi mainittua tapaa käytettiin myös tässä yhteydessä arkistoitavien kanavien liittämisessä tiedonkeruuseen.

Wedgen arkistointiin määriteltiin samat 1087 prosessitagiä, joita prosessinohjausjärjestelmän omilla arkistointitoiminnoillakin kerätään. Kerättävät tagit saatiin suoraan samasta archive tags -taulukosta, jota aiemmin symbolitaulun sisällön määrittelemisessäkin käytettiin. Taulukko sisältää sellaisenaan suorat polut arkistoitaviin prosessitageihin prosessinohjausjärjestelmän sisällä.

### *Esimerkki 1 Prosessinohjausjärjestelmän sisäinen polku*

*“CFBC/K3\_Polttoaine/K2ECA01CS201/K2ECA01CS201.PV\_Out#Value”,  
jossa alkuosa muodostuu kattilasta ja sen alihierarkiasta  
“CFBC/K3\_Polttoaine” sekä CFC-kaavion ja blokin nimestä  
“/K2ECA01CS201/K2ECA01CS201”. Loppuosa “PV\_Out#Value” kertoo  
blokin sisäisen IO:n.*

SIMATIC NET OPC DA -palvelin ei kuitenkaan näe suoraan tätä polkua, vaan polku muodostuu osittain AS-aseman nimestä ja sen sijainnista PCS7-projektissa sekä osittain symbolitauluun määritellystä nimestä.

## *Esimerkki 2 Prosessitagin polku OPC-palvelimella*

*"VTT\_AS\_01.VTT\_AS\_01.W\_K2ECA01CS201.PV\_Out.Value", jossa alkuosa "VTT\_AS\_01.VTT\_AS\_01." tulee suoraan projektin hierarkiasta ja "W\_K2ECA01CS201" on aiemmin symbolitauluun vapaasti määritellystä datablokin nimestä, joka näkyy OPC-palvelimella kansiona. Polun osa "PV\_Out" viittaa tämän kansion alikansioon, jonka sisältä löytyy arkistointiin menevä skaalattu mitta-arvo "Value".*

Kaikissa OPC-palvelimilla näkyvissä prosessitageissa alkuosa on siis sama, eikä sen muuttaminen ole mahdollista ilman PCS7-projektin rakenteen tai sisäisen nimeämisen muuttamista. Ainoastaan polun loppuosa muuttuu blokin ja sen sisäisen IO:n mukaan.

Käytännössä prosessinohjausjärjestelmässä arkistoitavien tagien poluista generoitiin Excelissä OPC-palvelimella näkyvien vastaavien prosessitagien polut. Polkuja muokattaessa täytyi lisäksi ottaa huomioon, että OPC-palvelimen polussa erottimena käytetään pistettä, kun taas projektin sisäisissä poluissa käytössä on pisteen lisäksi myös #-merkki. Tämän lisäksi channels.txt tiedostoon tarvittiin jokaisen prosessitagin yksikkö ja kommentti. Koska niitä ei ollut prosessinohjausjärjestelmään ohjelmakoodin kääntämisen ja latausten nopeuttamiseksi määritelty, täytyi ne ristiintaulukoida erikseen useista eri lähteistä. Kun prosessitagien generoidut OPC-polut, kommentit ja yksiköt oli saatu koottua yhteen taulukkoon, täytyi ne vielä muokata channels.txt tiedostoon Wedgen käyttämään syntaksiin:

```
CHAN NAME="VTT_AS_01.VTT_AS_01.W_K2ECA01CS201.PV_Out.Value"
DESC="Pääpolttoaineen annosteluruuvien pyörimisnopeus" UNIT="r/min" TY-
PE="FLOAT" OPER="AVE" ENDCHAN
```

Kun kaikki 1087 prosessitagia lisättiin channels.txt tiedostoon ja Wedge-tiedonkeruu käynnistettiin, voitiin aiemmin määritellystä lokitiedostosta tarkistaa onnistuiko kaik-

kien tagien lisääminen arkistointiin. Tämän jälkeen onnistuneesti lisätyt prosessitagit tulivat näkyviin Wedge client -ohjelmaan hakemistoon ja prosessikaavioiden konfigurointi voitiin aloittaa.

## 7.5 PCS7-arkistotagien ongelmien

Ristiintaulukointivaiheen yhteydessä havaittiin puutteita prosessinohjausjärjestelmän käyttämissä arkistotagien nimissä. PCS7-järjestelmässä arkistotagien nimet ja polut luodaan projektin ensimmäisen käännön ja latauksen yhteydessä sillä hetkellä käytössä olevien positionimien ja polkujen perusteella. Jos positionien nimiä tai sijaintia projektin hierarkiassa tämän jälkeen muutetaan, muutokset eivät suoraan päivitä arkistotagien polkuihin. Käytännössä arkistotagien polut täytyy päivittää joko manuaalisesti positio kerrallaan tai suurempana joukkona SQL-scriptin avulla.

Polttokeelaboratorion PCS7-prosessinohjausjärjestelmän käyttöönoton yhteydessä positionimiin ja sijaintiin oli tehty muutoksia, joiden vuoksi tällä hetkellä osa arkistotagien poluista ei vastaa järjestelmässä käytettäviä tämän hetkisiä positionimiä. Käytännössä tämä aiheuttaa ongelmia myös trendien piirtoon operointiasemilla. Yhteenlaskettuna virheellisiä arkistotagipolkuja löytyi laskentavasta riippuen n. 100–400 kpl.

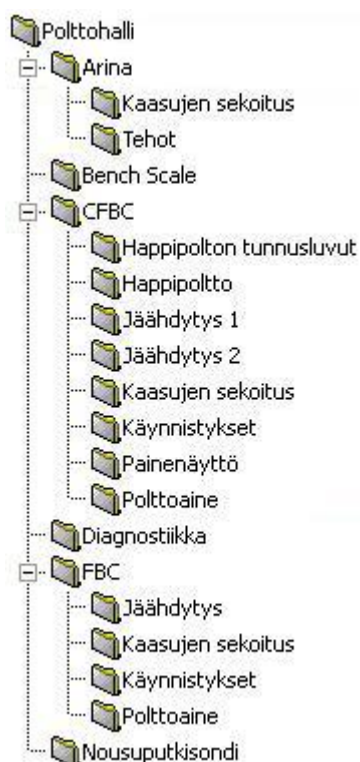
Arkistotagipolkujen päivittäminen kuului järjestelmätoimittajalle, joten sitä ei tämän opinnäytetyöprojektin aikana lähdetty tekemään. Vanhojen tagipolkujen esiintyminen arkistossa ei käytännössä estänyt Wedge-konfiguroinnin jatkamista, mutta jatkossa tagipolut olisi tärkeä päivittää, jotta molempiin järjestelmiin saadaan käyttöön samat positionimet.

## 7.6 Wedge-prosessikaavioiden konfigurointi

Kun kaikki tarvittavat prosessitagit oli määritelty kerättäväksi Wedgen tietokantaan, seuraava vaihe oli konfiguroida Wedge-palvelimelle valmiit prosessikaaviopohjat, joita Wedgeä käyttävät tutkijat voisivat työssään hyödyntää. Koska jokaisella Wedgeä käyttävällä tutkijalla on hieman erilaiset tutkimuskohteet ja tarpeet, pyrittiin prosessikaavioista tekemään mahdollisimman kattavia ja yleishyödyllisiä. Käytännössä tutkijat voisivat myöhemmin hyödyntää näitä valmiita pohjia ja räätälöidä niitä paremmin omiin tarkoituksiinsa sopiviksi.

Wedge-palvelimelle konfiguroitavien prosessikaavioiden pohjana käytettiin prosessinohjausjärjestelmän valvomonäyttöjä. Niissä käytetyt pohjat siirrettiin JPEG-muodossa Wedgen kaavioihin taustakuviksi ja tietokantaan tallennettavat prosessitagit aseteltiin valvomonäyttöjen mukaisesti paikoilleen. Liitteessä 3 on esitetty valmis Arinan päänäytöstä tehty Wedge-prosessikaavio.

Myös Wedgen prosessikaavioiden hierarkkinen rakenne otettiin suoraan prosessinohjausjärjestelmästä. Käytännössä kaikki Wedgen prosessikaaviot sijaitsevat samassa kaaviotiedostossa, jossa näyttöjen hierarkia on seuraavan kuvion mukainen.



**KUVIO 40. Wedge-prosessikaavioiden hierarkkinen rakenne**

Bench Scale -kattilan osalta erilliset alinäytöt voitiin jättää pois, koska kaikki kattilan tiedonkeruussa olevat prosessitagit saatiin ongelmitta mahtumaan yhdelle näytölle. Prosessitagien lisäksi hierarkian päätasolle, Polttohalli-kaavioon lisättiin linkit jokaiseen alinäyttöön. Kaikkiin näyttöihin lisättiin vastaavasti paluulinkit hierarkian päätasolle. Makrojen, laskentojen ym. kehittyneempien toimintojen lisääminen päätettiin jättää tutkijoiden itsensä tehtäväksi, koska niistä olisi ollut hankala luoda yleispäteviä kaikkien tutkijoiden tarpeisiin sopivia valmiita pohjia. Valmis Polttohalli-niminen prosessikaavio tallennettiin Wedge-palvelimelle, jossa se on kaikkien Wedge client -käyttäjien saatavilla. Käytännössä tutkijat voivat kopioida tämän kaavion ja käyttää sitä pohjana luodessaan paremmin omiin tarpeisiinsa sopivia prosessikaavioita.

## 7.7 Testaus

Järjestelmän testaus suoritettiin kahdessa vaiheessa käyttöönoton yhteydessä. OPC-palvelimen riittävä suorituskky varmistettiin heti palvelimen asennuksen ja konfiguroinnin jälkeen. Wedge-tiedonkeruun osalta käyttöönoton jälkeen suoritettussa testauksessa käytettiin vertailukohtana prosessinohjausjärjestelmän arkistoimaa prosessidataa.

### 7.7.1 OPC-palvelimen suorituskvyn testaus

OPC-palvelimen toiminnan ja suorituskvyn testaamiseen käytettiin kahta sitä varten kehitettyä OPC-client ohjelmaa, Siemensin SIMATIC NET PC -ohjelmiston perusasennukseen kuuluvaa OPC Scout -ohjelmaa sekä Matrikonin OPC explorer -ohjelmaa. Molempien ohjelmien peruseriaate on sama. OPC-palvelimella näkyviä tageja voidaan selata ja asettaa tarkkailuun yksitellen. Lisäksi suurempi määrä tageja voidaan asettaa tarkkailuun yhdellä kertaa xml-tiedoston avulla.

Kun OPC-tagit on lisätty tarkkailuun, näyttää ohjelma OPC-tagin sen hetkisen arvon, arvon luotettavuuden laatuarvona sekä aikaleiman. Laatuarvo voi OPC-määrittelyn mukaisesti olla Good, Uncertain tai Bad. Laatuarvo Good tarkoittaa, että OPC-palvelimella näkyvä arvo on luotettava ja sitä voidaan käyttää. Uncertain tarkoittaa, että arvo on sillä hetkellä epävarma ja Bad tarkoittaa, että arvo ei ole luotettava. Edellä mainittujen laatuarvojen lisäksi, jokaiselle tagille saadaan eräänlainen alilaatuarvo, jolla voidaan tarkentaa mistä pääasiallinen laatuarvo johtuu. Esim. laatuarvolle Bad voidaan saada alilaatuarvo "Not Connected", joka voi tarkoittaa esimerkiksi että arvo ei ole saatavilla prosessiasemalta sillä hetkellä.

Käytännössä testaaminen suoritettiin lisäämällä aluksi kaikki Wedge-tiedonkeruuseen menevät tagit (1087kpl) xml-tiedoston avulla tarkkailuun. Tämän jälkeen muita PCS7-projektin symbolitaulun sisältämiä, ja sitä kautta OPC-



palvelimella näkyviä arvoja, lisättiin manuaalisesti niin paljon kuin niitä oli käytettävissä, yhteensä n. 1500 arvoon saakka. Tarkkailussa käytettiin synkronista päivitystä aluksi yhden sekunnin päivityssyklillä. Laatuarvojen tarkkailun perusteella voitiin todeta, että OPC-tagien arvot ovat näiltä osin luotettavia. Muutamia epäluotettavia arvoja esiintyi, mutta niillä ei ollut tarkistusten perusteella arvoja itse PCS7-projektin sovellusohjelmassakaan. Testausta jatkettiin pudottamalla päivityssykliä ensin 500 millisekuntiin ja sen jälkeen lyhyimpään mahdolliseen 100 millisekuntiin. Käytännössä päivityssyklin lyhentäminen ei näyttänyt vaikuttavan tarkkailtavien tagien laatuarvoihin millään tavalla. Testien perusteella voitiin todeta, että OPC-rajapinta täyttää sille vaatimusmääritellyssä asetetut tavoitteet ja suorituskkyky on tällä hetkellä vähintäänkin riittävä.

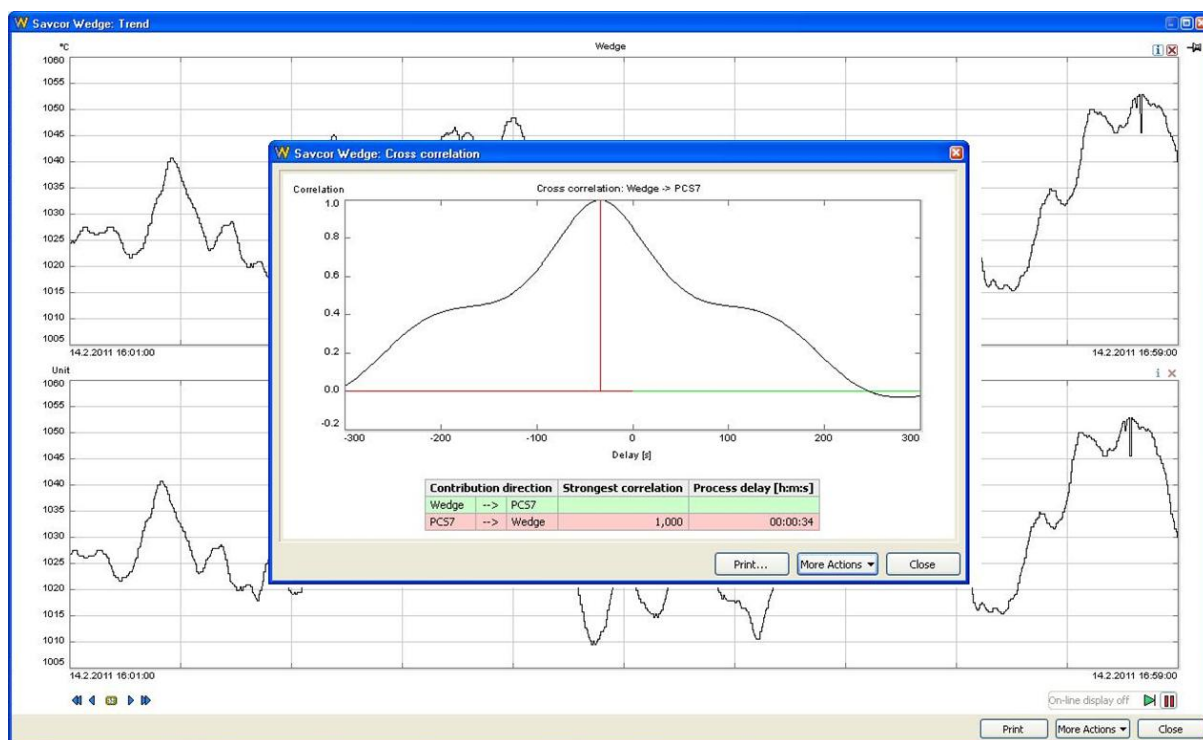
### 7.7.2 Wedge-tiedonkeruun testaus

Wedgen tiedonkeruun testaamisella haluttiin varmistua tiedonkeruun suorituskyyvyn riittävydestä sekä OPC-konfiguroinnin onnistumisesta. OPC-tagien vapaa nimeäminen symbolitaulussa mahdollistaa teoriassa virheellisten positioiden joutumisen Wedge-tiedonkeruuseen. Testaus suoritettiin käyttämällä referenssinä prosessinohjausjärjestelmän keräämää prosessidataa, joka on koeajojen ja analysoinnin yhteydessä todettu validiksi. Tällä tavoin mahdolliset virheelliset nimet tai väärä mittausdata voitiin paikallistaa. Testauksessa voitiin käyttää vain osittain oikeaa koeajodataa, koska kaikille kattiloille sitä ei vielä ollut Wedgen tietokannassa saatavilla. Käytännössä tämä tarkoitti sitä, että testauksessa käytetyssä prosessidatasta osa oli arvoltaan pelkkää nollaa.

Työkaluina testauksessa käytettiin Exceliä ja Wedge-ohjelman analyysitoimintoja. Prosessinohjausjärjestelmän keräämää dataa haettiin kolme erillistä jaksoa Exceliin, josta se Savcorin tarjoaman kääntöohjelman avulla käännettiin WDB-tietokannaksi. Valmis WDB-tietokanta liitettiin Wedge-tietolähteeksi ja näin prosessinohjausjärjestelmän arkistoimaa dataa voitiin käsitellä Wedgen analyysityökaluilla.

Kummankin järjestelmän keräämästä prosessidatasta laskettiin pareittain mm. keskiarvoja ja hajontoja, joita vertaamalla pystyttiin määrittämään kuinka hyvin ne vastaavat toisiaan. Lisäksi korrelaatiokertoimien avulla voitiin arvioida prosessidatojen samanmuotoisuutta. Korrelaatiokerroin on arvo välillä  $-1 \dots 1$ , jossa 1 vastaa täydellistä korrelaatiota,  $-1$  negatiivista korrelaatiota ja 0 kertoo, ettei mittausten väliltä löydy korrelaatiota. Korrelaatiokertoimia käytetään tavallisesti riippuvuussuhteiden määrittämiseen, mutta tässä yhteydessä niitä voitiin soveltaa mittausten samanmuotoisuuden testaamiseen.

Testauksen yhteydessä havaittiin ongelma järjestelmien kellojen synkronoinnissa. Wedgen arkistoima data saa aikaleimansa Wedge-palvelimen ajasta, joka on synkronoitu VTT:n sisäverkon kautta atomikelloaikaan. Prosessinohjausjärjestelmän kellon synkronointi samaan aikaan Wedge-palvelimen kanssa ei ollut onnistunut, vaan järjestelmien keräämässä datassa esiintyy n. 34 sekunnin aikaero. Tätä voitiin tarkastella kuviossa 41 esitellyn Wedgen ristikorrelaatio-työkalun avulla. Täydellinen korrelaatio löytyy 34 sekunnin viiveellä.



**KUVIO 41. Ristikorrelaatio samalle Wedgen ja PCS7:n arkistoimalle lämpötilamittaukselle**

Löydetty aikaero pystyttiin kompensoimaan Wedgen signaalinkäsittelytyökaluilla, joten testausta voitiin jatkaa samalla testidatalla aikaerosta huolimatta. Seuraavissa kuvioissa 42 ja 43 on esitetty muutamia otoksia arkistoiduille datoilte lasketuista tilastollisista arvoista.

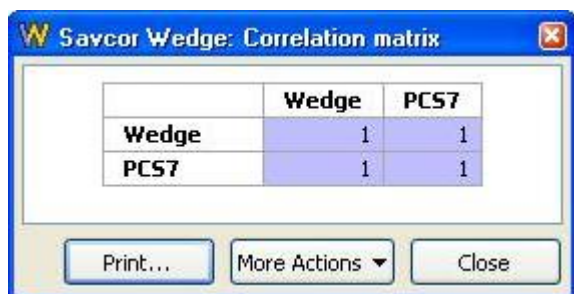
**W Savcor Wedge: Statistics**

Measurement	Unit	Average	Deviation	Maximum	Minimum
Wedge	°C	1030	10,07	1053	1009
PCS7	Unit	1030	10,07	1053	1009

Print... Columns More Actions Close

**KUVIO 42. Keskiarvo ja hajonta sekä minimi- ja maksimiavot samalle eri järjestelmillä arkistoiduille mittaukselle laskettuna**

Edellisestä kuvioista nähdään, että Wedgen ja prosessinohjausjärjestelmän arkistoinnista datasta lasketut tilastolliset arvot vastaavat täysin toisiaan. Seuraavassa kuviossa on esitetty mittausten samanmuotoisuutta kuvaavat korrelaatiokertoimet.



	Wedge	PCS7
Wedge	1	1
PCS7	1	1

**KUVIO 43. Korrelaatiomatriisi samalle Wedgen ja prosessinohjausjärjestelmän arkistoinnille mittaukselle**

Korrelaatiokertoimen arvo 1 kertoo mittausten täydellisestä samanmuotoisuudesta. Käytännössä kuvioissa 42 ja 43 esitetyt testit suoritettiin kaikille tiedonkeruussa oleville mittauksille suuremmissa ryhmissä ja tuloksien perusteella voitiin todeta, että kahdella eri tiedonkeruujärjestelmällä kerätty data on vastaa hyvin toisiaan.

Ainoastaan joidenkin nopeasti muuttuvien mittausten kuten esim. tulipesän paineiden kohdalla oli havaittavissa eroja tallennetuissa mittauksissa. Suurimmillaan erot keskiarvoissa olivat n. 1 %:n luokkaa itse mittausarvosta. Käytännössä nämä erot voivat syntyä tiedonkeruujärjestelmien ja rajapintojen erilaisista sisäisistä viiveistä sekä pienestä erosta ajan hetkessä, jolla prosessinohjausjärjestelmä mittausdatan kummallekin tiedonkeruujärjestelmälle tarjoaa. Prosessiaseman diagnostiikkatietojen mukaan sovellusohjelman suoritussykli on normaalisti alle 10ms, joten myös tiedonkeruujärjestelmillä arkistoitava arvo ehtii sekunnin sisällä muuttua useita kertoja. Lopullisesti arkistoitava arvo riippuu siitä mille sovellusohjelman suoritussyklille prosessiaseman tiedonkeruujärjestelmälle palauttama arvo osuu.

## 8 YHTEENVETO

### 8.1 Lähtökohta

Työn lähtökohtana oli VTT:n polttokoelaboratorioon hiljattain käyttöönotettu Siemens SIMATIC PCS7 -prosessinohjausjärjestelmä, jonka omilla toiminnoilla toteutettu tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmä ei täysin pystynyt täyttämään tutkimusympäristön asettamia vaatimuksia. Suurimmiksi ongelmiksi muodostuivat tietokantaan tallennetun prosessidatan hidas haku kannasta sekä järjestelmän käytettävyyks. Lisäksi tähän asti pääasiassa käytetty Excel-ympäristö ei tarjonnut parasta mahdollista käyttöliittymää tutkimusanalyysin tekemiseen. Puutteiden korjaamiseksi ja tutkimustyö tehostamiseksi päädyttiin prosessinohjausjärjestelmän yhteyteen hankkimaan erillinen kolmannen osapuolen tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmä.

### 8.2 Kartoitus tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmistä

Uuden tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmän hankinnassa lähdettiin liikkeelle vaatimusmäärittelyllä ja sen pohjalta tehdyllä kartoituksella, jonka tavoitteena oli löytää potentiaalisimmat tähän tarkoitukseen sopivat tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmät sekä arvioida niitä toimintojen ja hankintakustannusten näkökulmista. Lähtökoh- tana oli, että uusi järjestelmä ei edellyttäisi aikaa vievää ja kustannuksia nostavaa kehitystyötä, vaan se saataisiin käyttöön suhteellisen nopealla aikataululla.

Kartoituksen avulla onnistuttiin saamaan hyvä yleiskatsaus markkinoilta tällä hetkellä löytyvistä tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmistä sekä niiden hankintakustannuksista. Tulosten perusteella voitiin yleisellä tasolla todeta, että analyysityökalujensa puo-

lesta valmiita, tämän tyyppiseen tutkimuskäyttöön soveltuvia ja PCS7-prosessinohjausjärjestelmään hyvin integroituvia järjestelmiä on Suomen markkinoilla vain muutamia. Teollisuuden tarpeisiin suunniteltuja, suppeammat analyysityökalut sisältäviä järjestelmiä löytyy sen sijaan enemmän. Ominaisuuksiensa puolesta potentiaalisia järjestelmiä olisi ollut saatavilla myös Suomen ulkopuolelta, mutta näiden osalta hankinta- ja ylläpitokustannukset olisivat nousseet suhteessa liian korkeiksi.

Kartoituksen aikana tutustuttiin n. 30 erilaiseen tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmään, joista viiden kanssa edettiin virallisesti tarjousasteelle saakka. Lopulta valinta kohdistui ominaisuuksiltaan sopivaan Savcor Wedge - prosessidiagnostiikkajärjestelmään.

### 8.3 OPC-rajapinta

Kartoituksen yhteydessä tutkittiin myös erilaisia rajapintavaihtoehtoja prosessinohjausjärjestelmän sekä tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmän välille. Teollisuusautomaatioissa nykyään standardiratkaisuna käytettävän OPC-rajapinnan katsottiin tarjoavan riittävän suorituskyvyn kustannustehokkaaseen hintaan. Kartoitusta laajennettiin OPC-palvelinohjelmistoihin, joiden valinnassa tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmältä vaadittava suorituskyky nousi ratkaisevaksi tekijäksi.

OPC-palvelintuotteen valinnan haasteena oli, että suorituskyvylle ei suurista projekti-kohtaisista eroista johtuen voida etukäteen antaa tarkkoja arvioita. Kartoituksen yhteydessä löytyneiden muutamien referenssien ja viitearvojen perusteella voitiin kuitenkin todeta, että PCS7-prosessinohjausjärjestelmän yhteydessä standardiratkaisuna käytettävät OPC-palvelimet eivät suorituskykynsä puolesta pysty täyttämään uudelle järjestelmälle asetettuja vaatimuksia. Arkkitehtuuriltaan erityyppisistä OPC-palvelinratkaisuista päädyttiin suoraan prosessiasemaan liittyvään palvelintyyppiin ja

Siemensin omaan SIMATIC NET OPC DA -palvelimeen. Kyseessä on PCS7-projektista täysin erillinen ohjelmistopohjainen palvelin, jonka konfigurointi on suoraan PCS7-projektiin integroituihin standardiratkaisuina käytettäviin palvelintyyppeihin verrattuna haastavampi toteuttaa.

Itse suoritettua käyttöönoton jälkeen tehtyjen testien perusteella voitiin todeta, että tärkein rajapinnalle asetettu vaatimus, suorituskky oli riittävä. Lisäksi OPC DA -rajapinta mahdollistaa kaksisuuntaisuuden, joten prosessin ohjaus OPC-tageille kirjoituksen avulla on mahdollista. Käytännössä tämä voidaan tulevaisuudessa toteuttaa samaa tiedonkeruussa käytettävää SIMATIC NET OPC-palvelinta hyödyntäen, tai vaihtoehtoisesti ohjauksien määrän ollessa pieni voidaan käyttää WinCC:n omaa perus-asennukseen kuuluvaa OPC DA -palvelinta.

## 8.4 Uusi tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmä

Käytännön testien perusteella Savcor Wedge -prosessidiagnostiikkajärjestelmä täyttää uudelle järjestelmälle asetetut vaatimukset hyvin. Sekä tiedonkeruu että tallennetun prosessidatan palautus tietokannasta ovat suorituskvyyltään riittävällä tasolla. Lisäksi analyysityökalujen laaja valikoima ja intuitiivinen käyttöliittymä tehostavat kerätyn prosessidatan analysointia. Erityisesti häiriöpiikkien ja muiden analyysituloksia vääristävien tekijöiden siivoaminen prosessidatasta tehostuu huomattavasti graafisten signaalinkäsittelytyökalujen myötä. Valmiiden työkalujen lisäksi korkeamman tason laskentaa voidaan helposti lisätä Matlab-toimintojen avulla. Usein toistuvat toiminnot voidaan toteuttaa makroina ja Excel-yhteensopivuus mahdollistaa edelleen myös Excel-ympäristön toimintojen käytön. Wedge-palvelimelle käyttöönoton yhteydessä valmiiksi tehdyt kaaviot toimivat hyvinä pohjina, joita muokkaamalla tutkijat voivat jatkossa kehittää analyysiympäristöä paremmin omiin tarkoituksiinsa sopivaksi.

Uudelle tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmälle kartoituksen alussa laaditusta vaatimusmäärittelystä täyttymättä jäi ainoastaan kaksisuuntaisuus, joka mahdollistaisi mm. kehittyneempien säätömenetelmien käytön prosessin ohjauksessa. Käytännössä Wedgen toiminnoilla tämä ei ole mahdollista, vaan se joudutaan toteuttamaan muiden ohjelmien kuten esim. Matlabin avulla.

Prosessinohjausjärjestelmän omat tiedonkeruutoiminnot tulevat jäämään käyttöön Savcor Wedge -prosessidiagnostiikkajärjestelmän rinnalle. Tällä tavoin tiedonkeruutoiminnot saadaan kahdennettua ja prosessidatan menettämisen todennäköisyys pienenee. Savcor Wedge -järjestelmän käyttöönottovaiheessa havaitut ongelmat prosessinohjausjärjestelmän vanhoissa arkistotagipoluissa tulisi tulevaisuudessa korjata, jotta molemmissa tiedonkeruujärjestelmissä olisi käytössä samat oikeat taginimet. Tämä helpottaa mm. prosessinohjausjärjestelmän arkistoiman datan viemistä Wedge-tietokantaan ja korjaa aiemmin esiintyneet ongelmat PCS7-operointiasemien trendipiirtotoiminnoissa.



## 9 POHDINTA

Lähtökohtana olleen alkuperäisen tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmän toiminnan sekä sen puutteiden ja ongelmien ymmärtäminen vaati selvitystyötä opinnäytetyön alkuvaiheessa. Lisäksi ennen kuin kartoitusta uusista tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmistä voitiin lähteä tekemään, täytyi hankkia yleinen käsitys tutkimustyöstä ja sen asettamista vaatimuksista. Näiden perustietojen ja työn alkuvaiheessa laaditun vaatimusmäärittelyn pohjalta voitiin varsinainen kartoitusvaihe aloittaa.

Uuden tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmän etsinnässä ja valinnassa suurimmat haasteet asettivat tutkimusympäristön yksilölliset tarpeet ja suoraan vertailukelpoisten referenssien vähäisyys. Lisäksi kartoitusvaiheen lyhyt toteutusaika rajoitti yksityiskohtaisempaa tutustumista eri järjestelmien ominaisuuksiin. Kartoitukseen käytettyä aikaa pidentämällä ja laajentamalla kartoitusvaiheen kohderyhmää Suomen ulkopuolelle olisi voitu tavoittaa lisää ominaisuuksiltaan potentiaalisia järjestelmiä. Toisaalta kustannustekijöiden valossa oli kuitenkin järkevä ratkaisu rajata kartoituksen kohderyhmä vain Suomessa vaikuttaviin toimijoihin. Yleisesti ottaen kartoituksessa saatiin hyvä yleiskuva markkinoilta löytyvistä tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmistä ja yhdessä aiempien käyttökokemusten kanssa uuden järjestelmän valintaperusteet olivat lopulta selkeät.

Jos järjestelmän hankintaa pohditaan kustannusten näkökulmasta, suorituskyykyvaatimukset täyttävä tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmä olisi ollut mahdollista saavuttaa edullisemmin, mutta tällöin analyysitoiminnoista ja käytettävyydestä olisi jouduttu tinkimään. Lisäksi järjestelmän kehitettävyyden kannalta arvioituna esim. Lab-View-pohjainen ratkaisu olisi voinut tarjota vapaammat ja laajemmat mahdollisuudet tulevaisuudessa. Käytännössä kuitenkin kehitystyö olisi analyysitoimintojen osalta jouduttu aloittamaan lähes alusta ja näin uuden järjestelmän hyötyjen konkretisointi olisi ollut hitaampaa. Käytännössä Savcor Wedge -järjestelmän korkeampien

hankinta- ja ylläpitokustannusten arvioitiin kompensoituvan tutkimustyön tehostumisen myötä.

Tutkimusympäristön asettamien suorituskyyvaatimusten täyttymisen kannalta ratkaisevaan asemaan nousi rajapinnan toteutus. Normaalisti käytettävistä standardiratkaisuista poikkeavan rajapinnan toteutuksen voidaan katsoa tarjoavan uutta teoriaa arkkitehtuuriltaan erityyppisten OPC-palvelinratkaisujen suorituskyyvystä ja sovellettavuudesta. OPC-palvelimen käyttöönoton jälkeisten testien perusteella voitiin todeta, että työssä toteutetulla OPC-rajapintaratkaisulla, on teoriassa mahdollista ylittää PCS7-järjestelmän yhteydessä käytettäviä standardiratkaisuja parempaan suorituskyyvyn. Täytyy kuitenkin muistaa, että vertailukohtana tässä yhteydessä ovat ainoastaan Siemensin antamat standardiratkaisujen viitearvot. Lisäksi kun OPC-palvelimien suorituskyyvarvot ovat hyvin projektikohtaisia ja riippuvat useista tekijöistä, yleispäteviä johtopäätöksiä ei voida tehdä. Tulosten perusteella voidaan kuitenkin todeta, että PCS7-prosessinohjausjärjestelmän yhteydessä mahdollisista OPC-palvelinratkaisuista suoraan prosessiasemaan liitettävät OPC-palvelimet voivat tarjota hyvän suorituskyyvyn suhteessa hankintakustannuksiin ja ovat siten varteenotettavia vaihtoehtoja suorituskyyvyltään vaativampiin projekteihin. Tärkeimpiä edellytyksenä hyvälle suorituskyyvylle tämän tyyppisessä ratkaisussa ovat prosessiaseman mallittainen kuormitustaso ja lyhyt skannausaika. Jos käytettävissä olisi ollut enemmän aikaa, olisi testausta voitu viedä pidemmälle ja hakea raja-arvoa toteutetun OPC-rajapinnan suorituskyyvylle. Projektikohtaiset erot olisivat kuitenkin tässäkin tapauksessa asettaneet rajoituksia tulosten yleistettävyydelle.

Opinnäytetyön lähtökohtana olleeseen tutkimuslaitteiston alkuperäiseen tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmään sekä sen puutteisiin verrattuna uuden järjestelmän valintaa ja käyttöönottoa voidaan pitää onnistuneena. Aiemmin eniten ongelmia aiheuttaneet arkistoidun prosessidatan haun hitaus ja järjestelmän käytettävyyks on saatu korjattua. Alkuperäinen tiedonkeruujärjestelmä tulee jäämään varajärjestelmäksi uuden rinnalle ja lisäksi kun siinä ilmenneet puutteet arkistotagien nimeämisessä saadaan korjattua, kokonaisuus on toimintavarmuudeltaan ja käytettävyydeltään

tään hyvä. Lopputuloksena saatiin tutkimusympäristön vaatimukset täyttävät tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmä, joka tarjoaa kattavan valikoiman valmiita työkaluja tutkijoiden käyttöön. Valmiina tuotteena laajamittaisempaa kehitystyötä ei tarvitse tehdä, vaan uuden järjestelmän ominaisuudet saadaan heti käyttöön ja se tulee näkymään tutkimustyön tehostumisena.

## LÄHTEET

Basu, P. 2006. Combustion and Gasification in Fluidized Beds. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press. Taylor and Francis Group.

Energy Visions 2050. 2009. VTT/Energia, Edita. Porvoo: WS Bookwell Oy.

Joronen, T., Kovács, J. & Majanne, Y. 2007. Voimalaitosautomaatio. Helsinki: Copy-Set Oy. Suomen Automaatioseura ry.

Järvilehto, J. 2010. Insta Automation Oy. Sähköpostikeskustelu 23.11.2010. Kuvas CSV-käännöstyökalun toiminnasta.

Mikkonen, H. 2009. Description of combustion research at VTT: Research facilities, probing technology and results. Power Point -esitys. Viitattu 18.11.2010.

Oka, S. 2004. Fluidized Bed Combustion. New York, USA: Marcel Dekker Inc.

OPC Foundation, About OPC. OPC Foundation 2010. Viitattu 17.12.2010.  
<http://www.opcfoundation.org/> About OPC.

OPC Foundation, Alarms & Events. OPC Foundation 2010. Viitattu 17.12.2010.  
<http://www.opcfoundation.org/> About OPC, Alarms & Events.

OPC Foundation, Data Access. OPC Foundation 2010. Viitattu 17.12.2010.  
<http://www.opcfoundation.org/> About OPC, Data Access.

OPC Foundation, Historical Data Access. OPC Foundation 2010. Viitattu 17.12.2010.  
<http://www.opcfoundation.org/> About OPC, Historical Data Access.

OPC Foundation, Unified Architecture. OPC Foundation 2010. Viitattu 17.12.2010.  
<http://www.opcfoundation.org/> About OPC, Unified Architecture.

Process Control System PCS 7 Operator Station (V7.1) - Configuration Manual. Maaliskuu 2009. Siemens AG. Viitattu 21.12.2010.  
[http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll/csfetch/36195920/ps7osp\\_b\\_en-US.pdf?func=cslib.csFetch&nodeid=36194562&forcedownload=true](http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll/csfetch/36195920/ps7osp_b_en-US.pdf?func=cslib.csFetch&nodeid=36194562&forcedownload=true).

Raiko, R., Kurki-Suonio, I., Saastamoinen, J. & Hupa, M. 1995. Poltto ja palaminen. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy. International Flame Research Foundation (IFRF) Suomen kansallinen osasto.

Ramakrishnan, R. & Gehrke, J. 2003. Database Management Systems. Third Edition. New York, USA: McGraw-Hill Higher Education. International Edition.

Savcor Wedge -käyttöopas. 2009. Savcor Forest Oy. Viitattu 2.1.2011. PDF-tiedosto.

SIMATIC NET, Industrial Communication with PG/PC Volume 1 - Basics System Manual. Huhtikuu 2010. Siemens AG. Viitattu 17.12.2010.

[http://cache.automation.siemens.com/dnl/jg/jg1NDQzAAAA\\_42783968\\_HB/SYH\\_opc\\_76.pdf](http://cache.automation.siemens.com/dnl/jg/jg1NDQzAAAA_42783968_HB/SYH_opc_76.pdf)

SIMATIC PCS7 2010, Process Control System. Maaliskuu 2010. Siemens AG. Viitattu 15.12.2010. [https://www.automation.siemens.com/mcms/process-control-systems/SiteCollectionDocuments/efiles/pcs7/pdf/76/br\\_pcs7\\_v71\\_en.pdf](https://www.automation.siemens.com/mcms/process-control-systems/SiteCollectionDocuments/efiles/pcs7/pdf/76/br_pcs7_v71_en.pdf).

Suojärvi, M., Kanervo, E. 2011. Savcor Group Ltd Oy. Sähköpostikeskustelu 7.1.2011. Vastaanottaja Häkkinen J. Kuvaus Wedge-prosessidiagnostiikkajärjestelmän tietokannan rakenteesta ja sisäisten palvelinohjelmistojen toiminnasta.

VTT, Bioenergia ja biopolttoaineet. 2009. Viitattu 15.11.2010.

[http://www.vtt.fi/research/area/bioenergy\\_and\\_biofuels.jsp](http://www.vtt.fi/research/area/bioenergy_and_biofuels.jsp). Teknologiat ja osaamiset, Energia, Bioenergia ja biopolttoaineet.

VTT, Energia. 2009. Viitattu 15.11.2010. <http://www.vtt.fi/research/ene/>. Teknologiat ja osaamiset, Energia

VTT, Fluidized-bed combustion multifuel power and heating plants VTT 2009. Viitattu 15.11.2010. [http://www.vtt.fi/research/technology/fluidized\\_bed\\_combustion\\_and\\_multifuel\\_power\\_and\\_heating\\_plants.jsp?lang=en](http://www.vtt.fi/research/technology/fluidized_bed_combustion_and_multifuel_power_and_heating_plants.jsp?lang=en). Teknologiat ja osaamiset, Energia, Bioenergia ja biopolttoaineet, Fluidized-bed combustion multifuel power and heating plants.

VTT, Tutkimus ja teknologiat. 2009. Viitattu 14.11.2010. <http://www.vtt.fi/research/>. Teknologiat ja osaamiset.

WinCC V7.0 SP1 MDM - WinCC/Connectivity Pack - System Manual. Marraskuu 2008. Siemens AG. Viitattu 26.12.2010.

<http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll?query=wincc+connectivity+pack&func=cslib.cssearch&content=adsearch%2Fadsearch.aspx&lang=en&siteid=cseus&objaction=cssearch&searchinprim=0&nodeid0=10806846>.

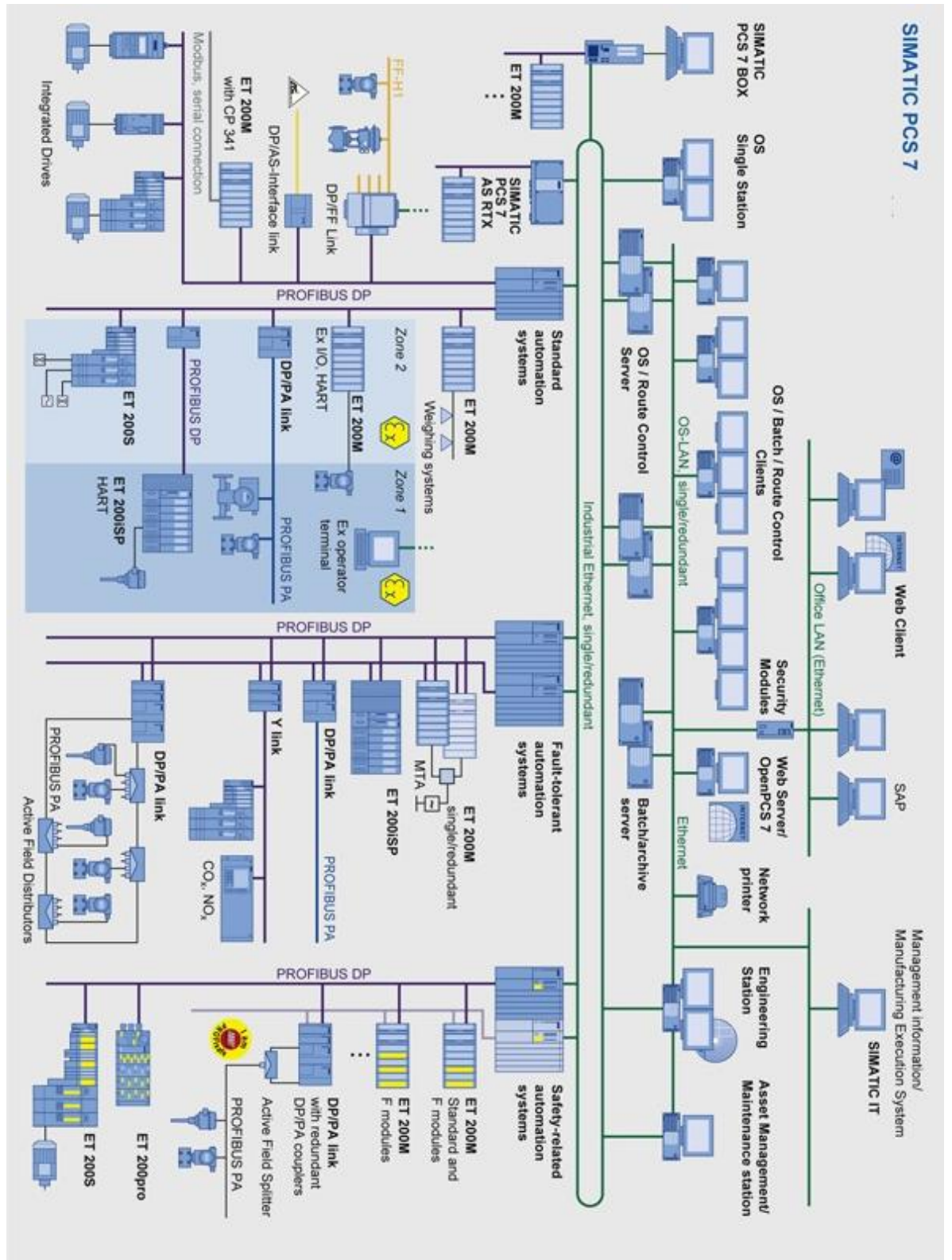
WinCC V7.0 SP1 MDM - WinCC/DataMonitor - System Manual. Marraskuu 2008. Siemens AG. Viitattu 26.12.2010.

<http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll?query=wincc+data+monitor&func=cslib.cssearch&content=adsearch%2Fadsearch.aspx&lang=en&siteid=cseus&objaction=cssearch&searchinprim=0&nodeid0=17368153>.

Wolski, A., Arminen, J. & Pesonen, A. 1999. Relatiotemporaalinen tietomalli mittaustiedon hallintaa varten. VTT Tietotekniikka, VTT, Finland. Automaatio 1999, 14.-16.9.1999. <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/1990s/ap99-tietomalli.pdf>

## LIITTEET

## Liite 1. PCS7-prosessinohjausjärjestelmän arkkitehtuuri



## Liite 2. Tiedonkeruu- ja analysointijärjestelmät -kartoituksen tuloksia

Yritys	Savcor	Novotek	National Instruments	Protacon	Klinkmann automation
Tuote	Wedge	Proficy Historian/Portal	DSC, LabView/DIAdem	ProPat, ProGraph	Wonderware
<b>Perusominaisuudet</b>					
Mittausdatan kerääminen 1500tag/s	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Keskivarvolaskenta	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Ryhmittely (esim. Kattilakohtaisesti)	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Laajennettavuus jälkepäin	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Excel yhteensovitus	Kyllä, leikkaa/liitä	Kyllä, Excel - lisäosa	Kyllä, csv - export	Kyllä, csv - export	Kyllä, Excel - lisäosa
<b>Lisäominaisuudet</b>					
Signaalinkäsittely (ohkot, suodatus)	Kyllä	Ei	Kehitettävissä	Kehitettävissä	Ei
Automaattiset raportit	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Ulkoisen laskennan lisääminen	Kyllä, Matlab	Kyllä, SDK-rajapinta	Ei suoraan, Math-Scriptit	Kyllä	Kyllä
Kaksisuuntaisuus	Ei	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
<b>Tietokanta</b>	<b>Aikasarja</b>	<b>Aikasarja</b>	<b>SQL</b>	<b>SQL</b>	<b>SQL-aikasarjalajajennus</b>
Datan tallennus ulkoiselle medialle	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Taltioidun datan palautus	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Käytettävä rajapinta	OPC DA	OPC DA	OPC DA	OPC DA	OPC DA



# Liite 3. Savcor Wedge -asiakasohjelman käyttöliittymä

